



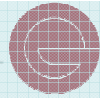
MECÂNICA EXPERIMENTAL E ORTOPEDIA

J.F. Silva Gomes
(FEUP/INEGI)



SUMÁRIO DA APRESENTAÇÃO

- **INTRODUÇÃO. ENQUADRAMENTO**
- **OBJECTIVOS DA BIOMECÂNICA**
- **BIOMECÂNICA EM PORTUGAL**
- **TÉCNICAS DA MECÂNICA EXPERIMENTAL**
 - Fotoelasticidade
 - Extensometria Eléctrica
 - Técnicas Interferométricas
 - Levantamento des forma
- **CNCLUSÃO**



DEFINIÇÕES E ÂMBITO

ORTOPEDIA:

É a especialidade médica que cuida das doenças e deformidades dos ossos, músculos, ligamentos, articulações, enfim, relacionadas com o aparelho locomotor.

MECÂNICA:

É o ramo da Física que estuda as forças (*Estática*) o movimento dos corpos (*Cinemática*) e a interacção entre massa e movimento (*Dinâmica*).

BIOMECÂNICA:

É o estudo da mecânica dos organismos vivos, isto é, estuda a estrutura e a função dos sistemas biológicos utilizando os métodos da mecânica clássica.



INTERSECÇÃO DE INTERESSES

ORTOPEDIA

BIOMATERIAIS
HISTOLOGIA
ANATOMIA
TRAUMATOLOGIA
PROTESES / IMPLANTES
RECONSTITUIÇÃO
...

BIOMECÂNICA

FORMA
FORÇAS
MOVIMENTO
MATERIAIS
RESISTÊNCIA
MECANISMOS
...

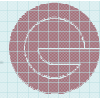
ESTÁTICA
DINÂMICA
MECÂNICA DOS SÓLIDOS
CIÊNCIA DOS MATERIAIS
ANALISE DE TENSÕES
PROJECTO E DESIGN
...

ENGENHARIA MECÂNICA



OBJECTIVOS DA INVESTIGAÇÃO EM BIOMECÂNICA

- Determinação de Tensões Mecânicas em condições fisiológicas;
- Resposta dos tecidos e materiais de restauro às tensões mecânicas;
- Caracterização da alteração das tensões após cirurgia ou colocação de implantes;
- Simulação e caracterização de processos de remodelação óssea;
- Desenvolvimento de novos materiais;
- Desenvolvimento de novas próteses e implantes.



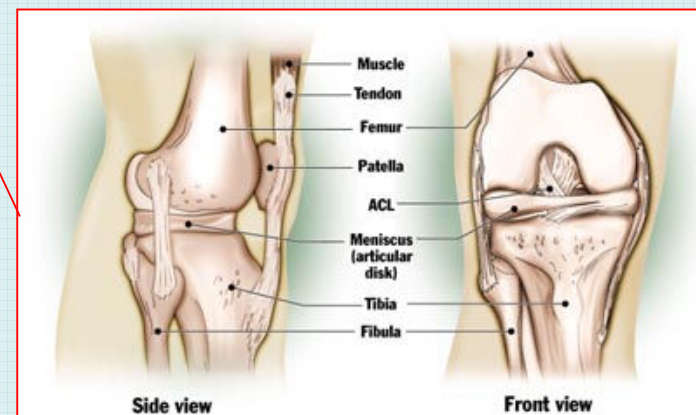
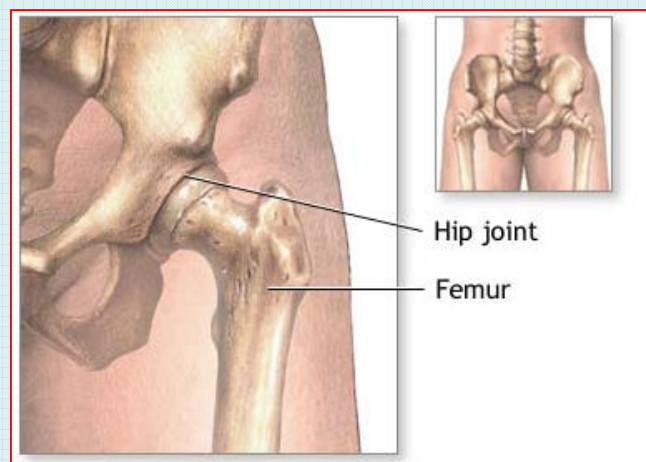
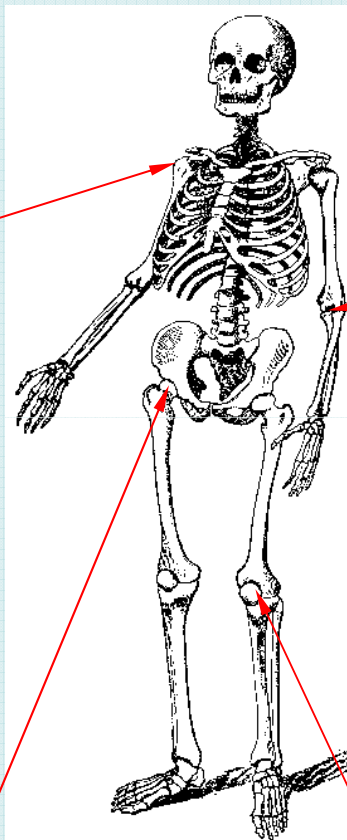
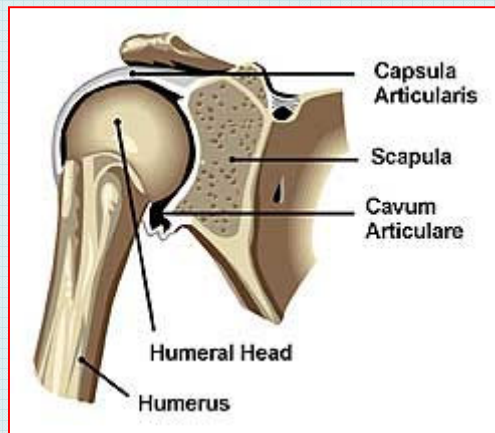
FERRAMENTAS UTILIZADAS NA BIOMECÂNICA

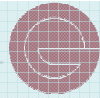
- Mecânica Computacional
- Mecânica Experimental
- Caracterização de Materiais

[em complemento:
Técnicas de Produção]



PRINCIPAIS ARTICULAÇÕES



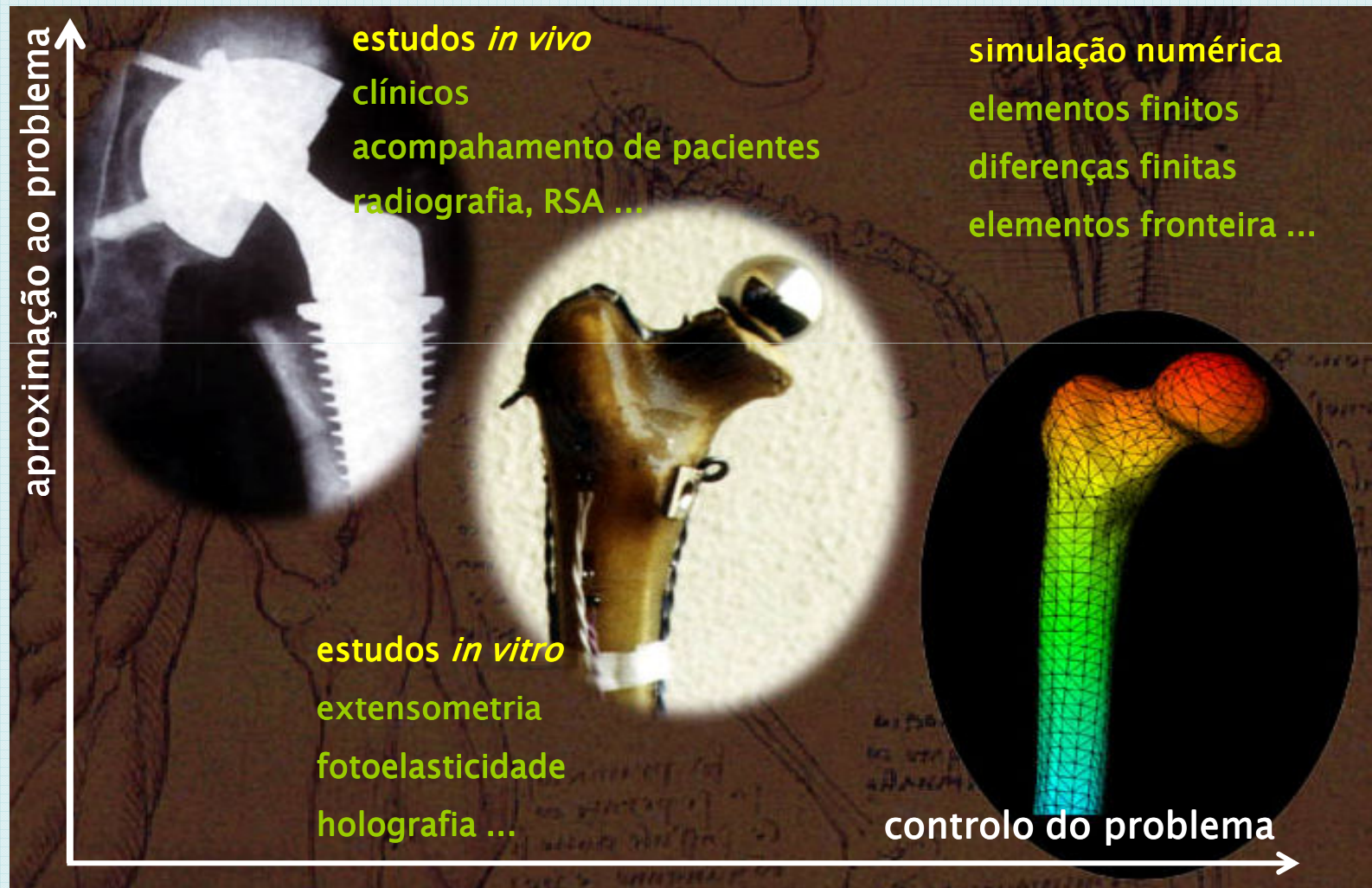


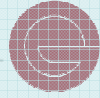
ESTRUTURAS NATURAIS CARACTERIZAÇÃO/REABILITAÇÃO (PROJECTO)

- **PROPRIEDADES MECÂNICAS**
 - Resistência, Rigidez, Tensão de Cedência e Ruptura
 - Comportamento Isotrópico vs Anisotrópico
 - Comportamento Elástico vs Viscoelástico
 - Dureza, Resistência à Fadiga, Fluência
- **CORRECTA DEFINIÇÃO DAS ESTRUTURAS BIOLÓGICAS**
- **OPTIMIZAÇÃO DE PRÓTESES E IMPLANTES**



APROXIMAÇÃO vs CONTROLO





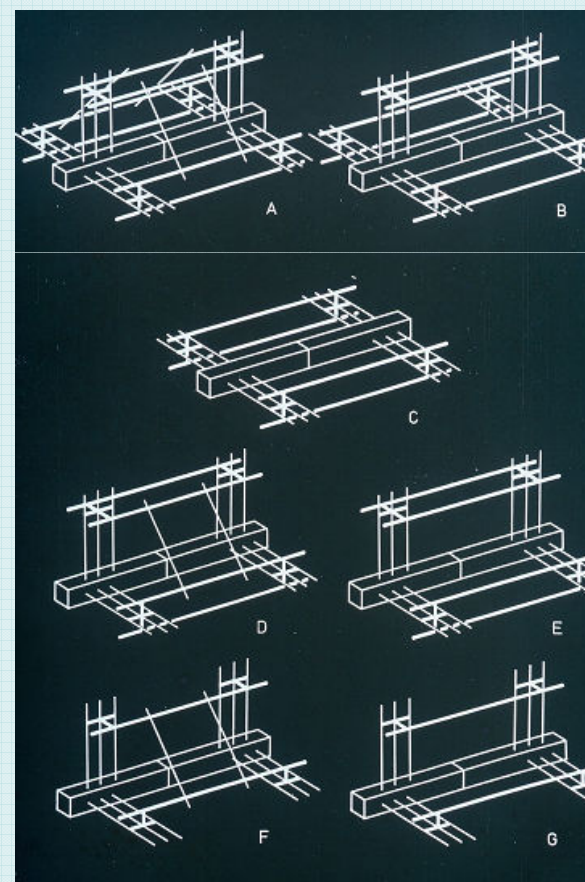
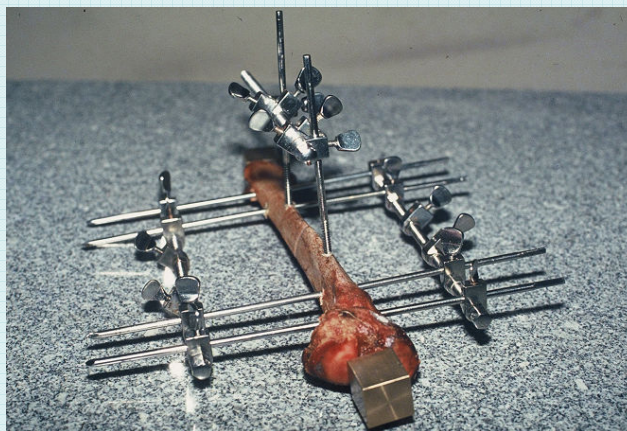
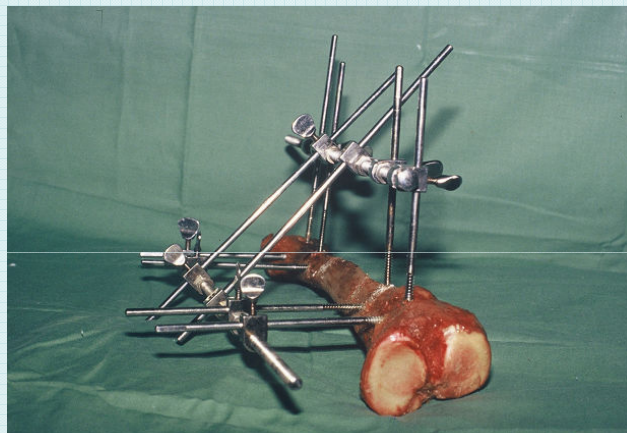
DESENVOLVIMENTO DA BIOMECÂNICA EM PORTUGAL

Em Portugal, a investigação em biomecânica tem tido uma enorme expansão nos últimos anos, que se traduz por um grande número de grupos de investigação nesta área e da oferta crescente de cursos de Engenharia Biomédica em várias Universidades e Institutos Politécnicos espalhados por todo o país.



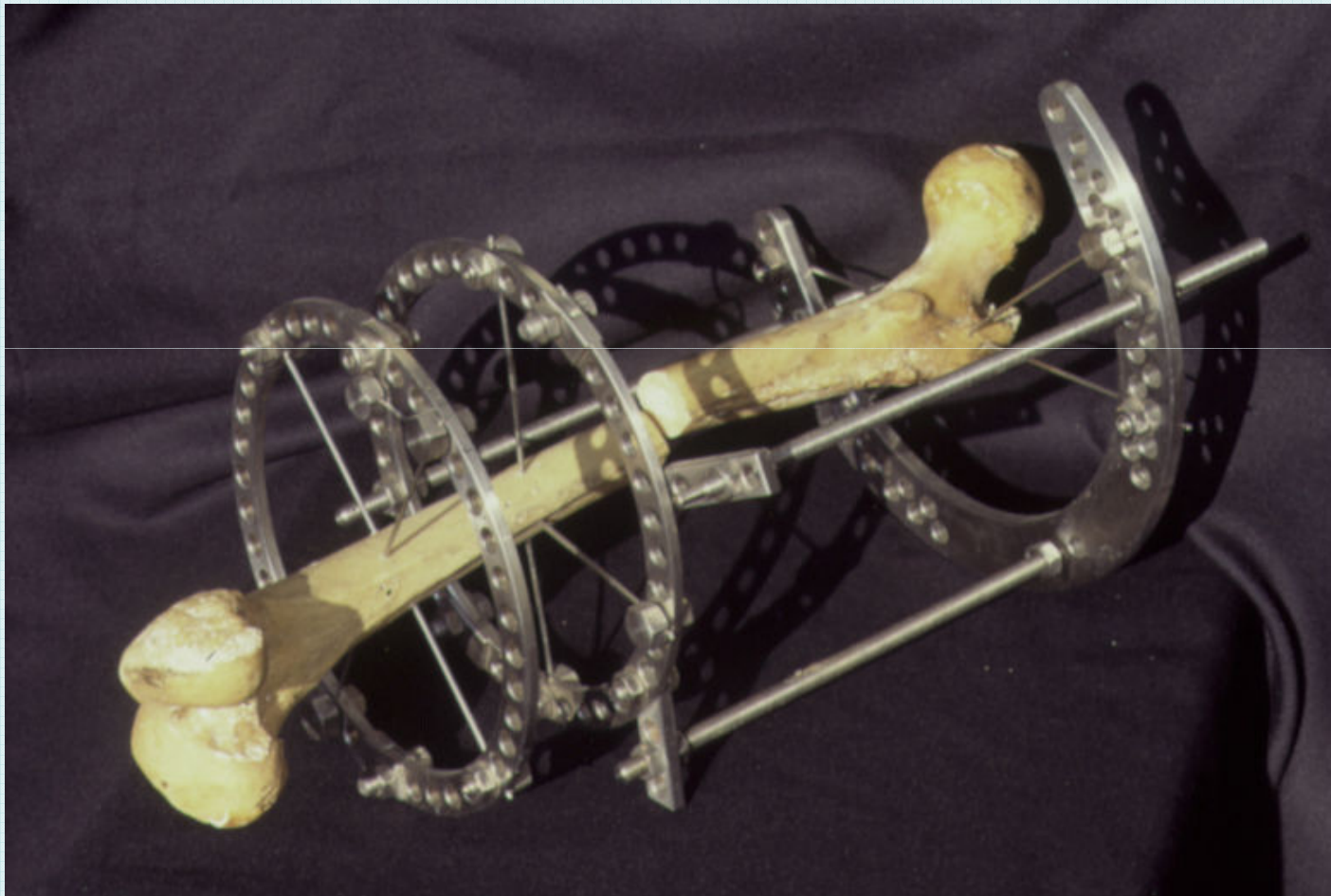
1ª CONTRIBUIÇÃO DAMECÂNICA EXPERIMENTAL

ESTUDO COMPARATIVO DE FIXADORES EXTERNOS





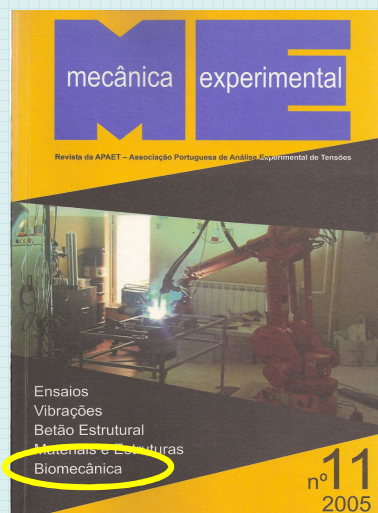
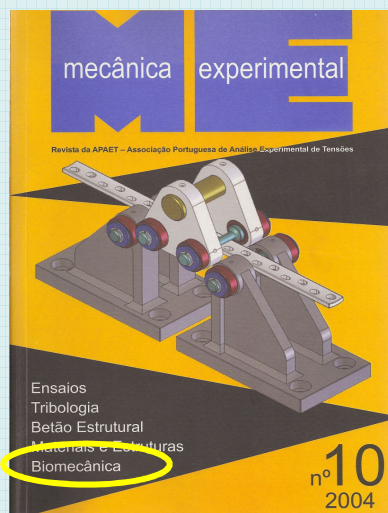
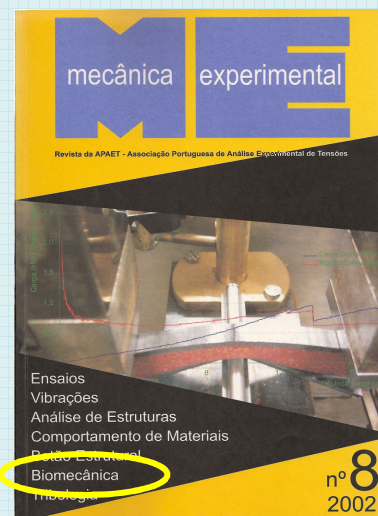
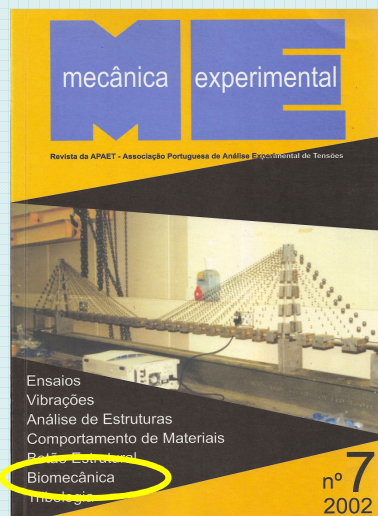
FIXADOR EXTERNO “UNIPOR”



Fixador UNIPOR (A. Trigo Cabral & J. Silva Gomes)



REVISTA MECÂNICA EXPERIMENTAL

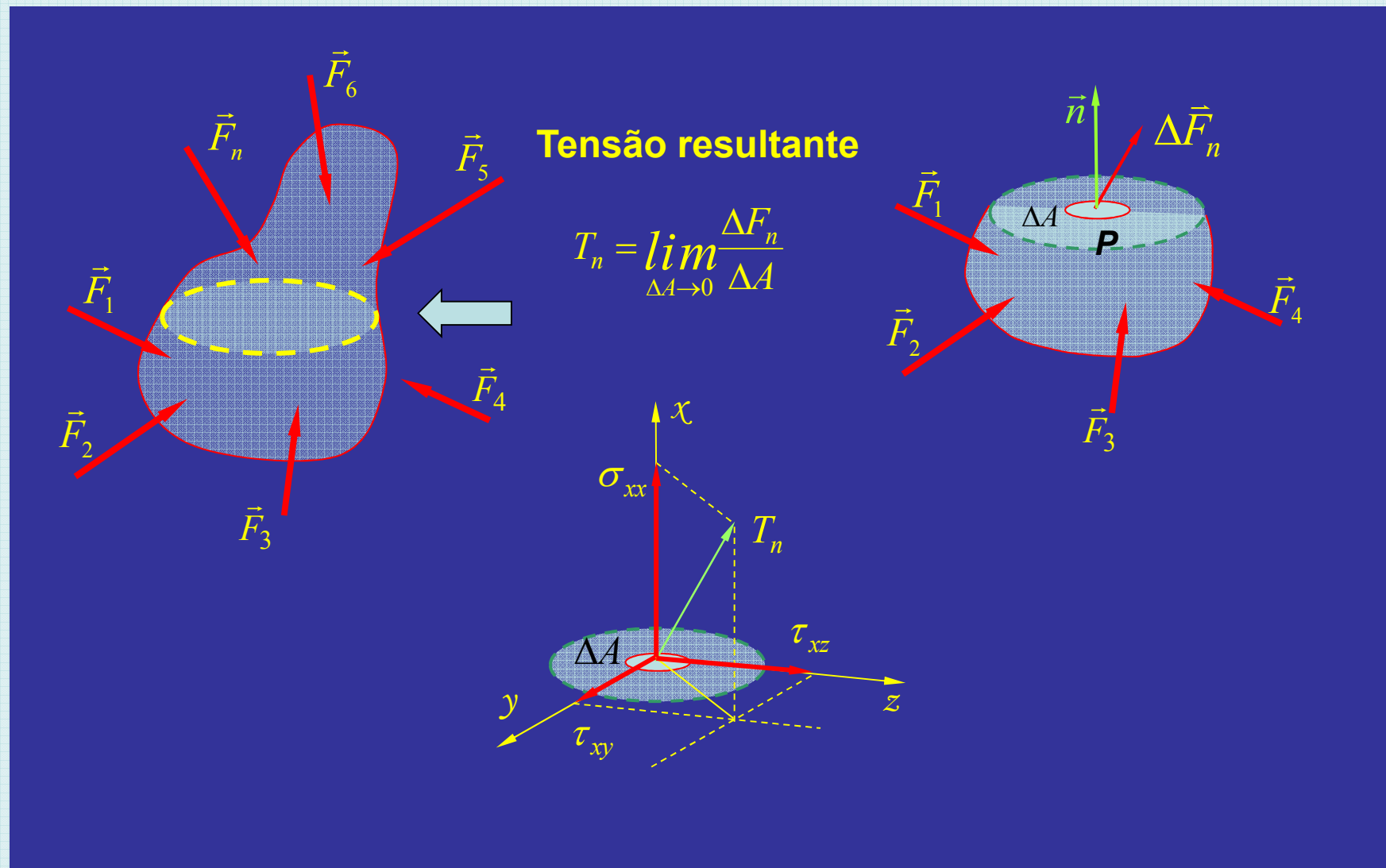




TÉCNICAS EXPERIMENTAIS

- **MEDIÇÃO DE TENSÕES**
 - Fotoelasticidade
- **MEDIÇÃO DE DEFORMAÇÕES**
 - Extensometria Eléctrica
 - Difracção de Raios X
 - Interferometria Holográfica e Moiré
- **CARACTERIZAÇÃO DE FORMAS**

O CONCEITO DE TENSÃO





CARACTERIZAÇÃO DO ESTADO DE TENSÃO

Estado plano de tensão

Face x

$$[\tau] = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_{zz} \end{bmatrix}$$

Face x

$$[\tau] = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \tau_{xy} & 0 \\ \tau_{yx} & \sigma_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

CARACTERIZAÇÃO DO ESTADO DE DEFORMAÇÃO

Materiais:
elásticos
Isotrópicos
homogéneos

alongamento distorção

$$[\tau] = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \tau_{xy} & 0 \\ \tau_{yx} & \sigma_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Matriz das tensões em P

$$[\varepsilon] = \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} & \gamma_{xy}/2 & 0 \\ \gamma_{yx}/2 & \varepsilon_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_{zz} \end{bmatrix}$$

Matriz das deformações em P



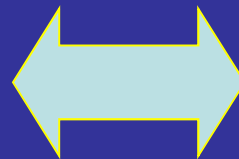
LEI DE HOOKE (Materiais Elásticos)

$$\varepsilon_{xx} = \frac{1}{E}(\sigma_{xx} - \nu\sigma_{yy})$$

$$\varepsilon_{yy} = \frac{1}{E}(\sigma_{yy} - \nu\sigma_{xx})$$

$$\varepsilon_{zz} = -\frac{\nu}{E}(\sigma_{xx} + \sigma_{yy})$$

$$\gamma_{xy} = \gamma_{yx} = \frac{\tau_{xy}}{G}$$



$$\sigma_{xx} = \frac{E}{1-\nu^2}(\varepsilon_{xx} - \nu\varepsilon_{yy})$$

$$\sigma_{yy} = \frac{E}{1-\nu^2}(\varepsilon_{yy} - \nu\varepsilon_{xx})$$

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = G\gamma_{xy}$$

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

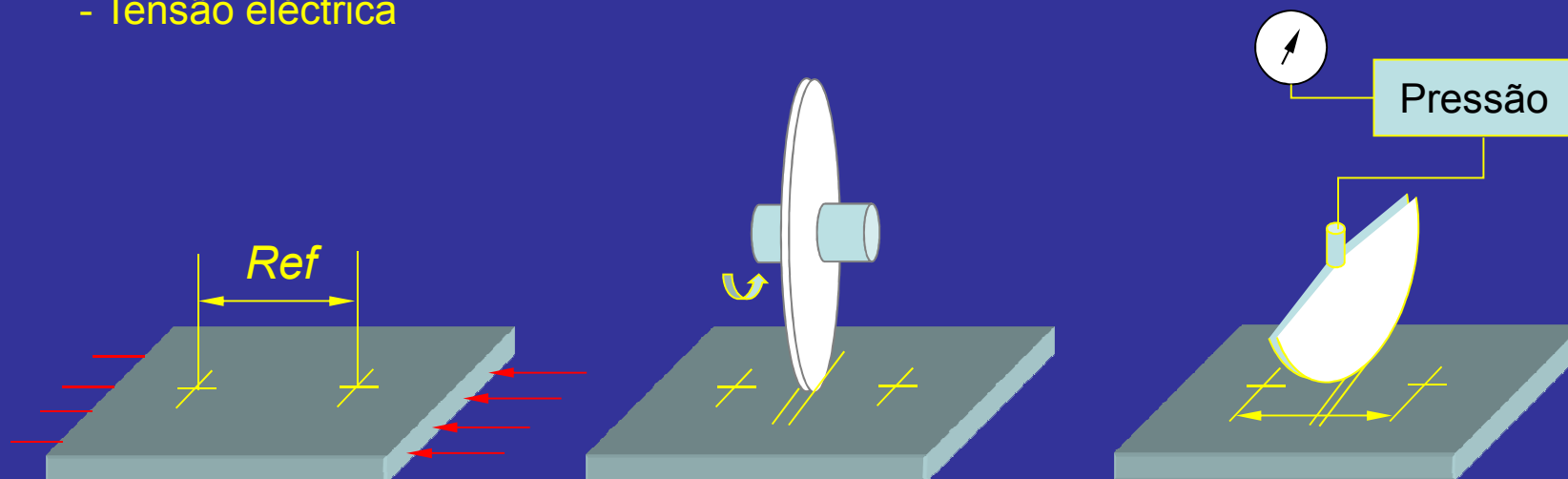
MEDIÇÃO DE TENSÕES (1)

▪ MEDIÇÃO DIRECTA

- Fotoelasticidade

▪ MEDIÇÃO INDIRECTA

- Deslocamento
- Deformação
- Índice de refração
- Tensão eléctrica

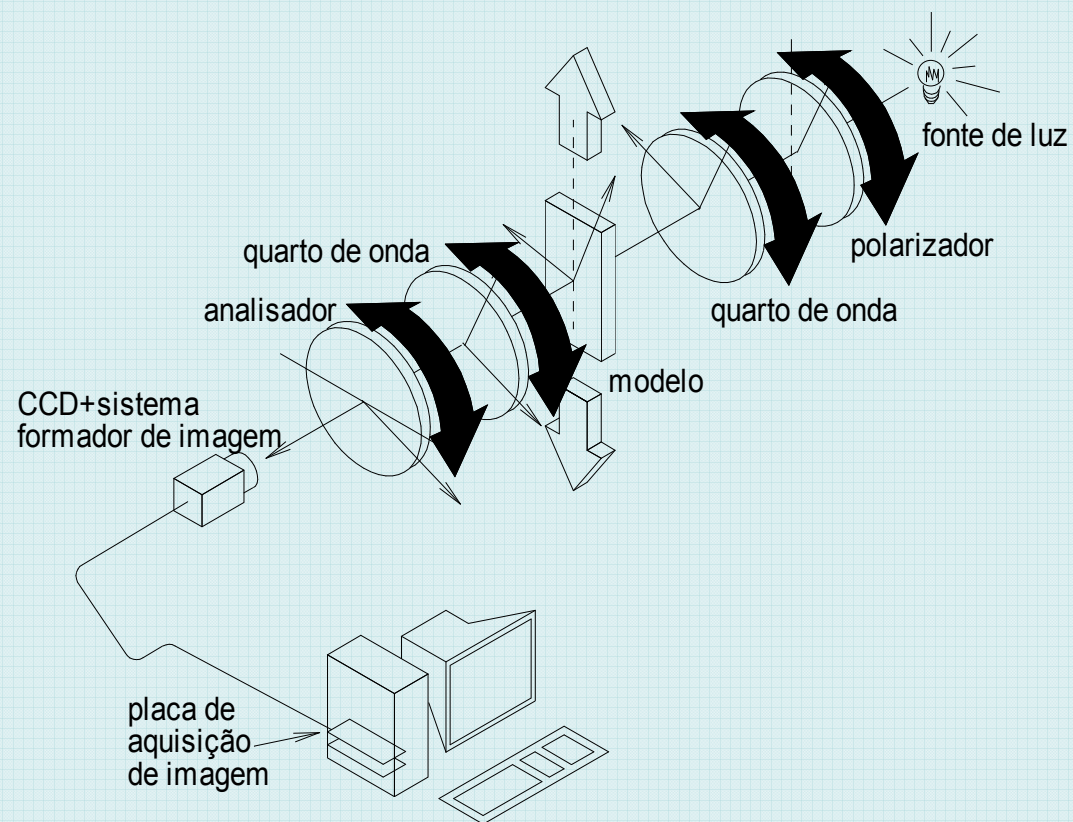


LNEC – Sistema para medição de tensões de compressão em rochas

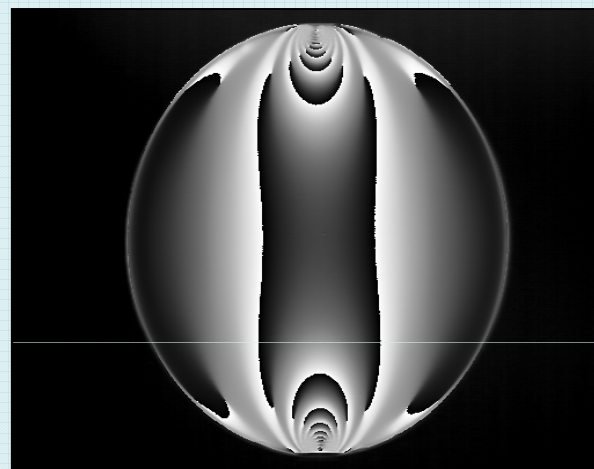


MEDIÇÃO DE TENSÕES (2)

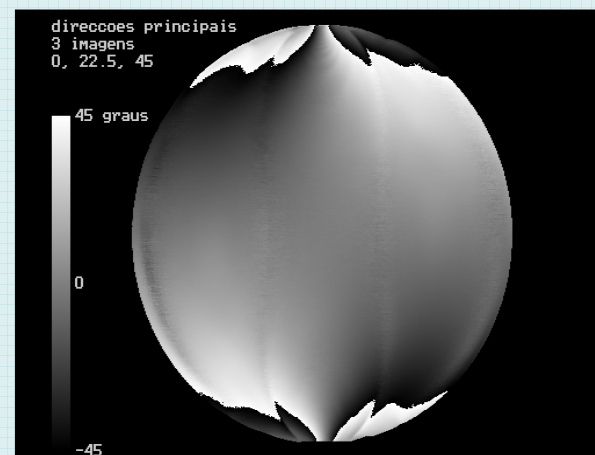
Fotoelasticidade



ISOCROMÁTICAS



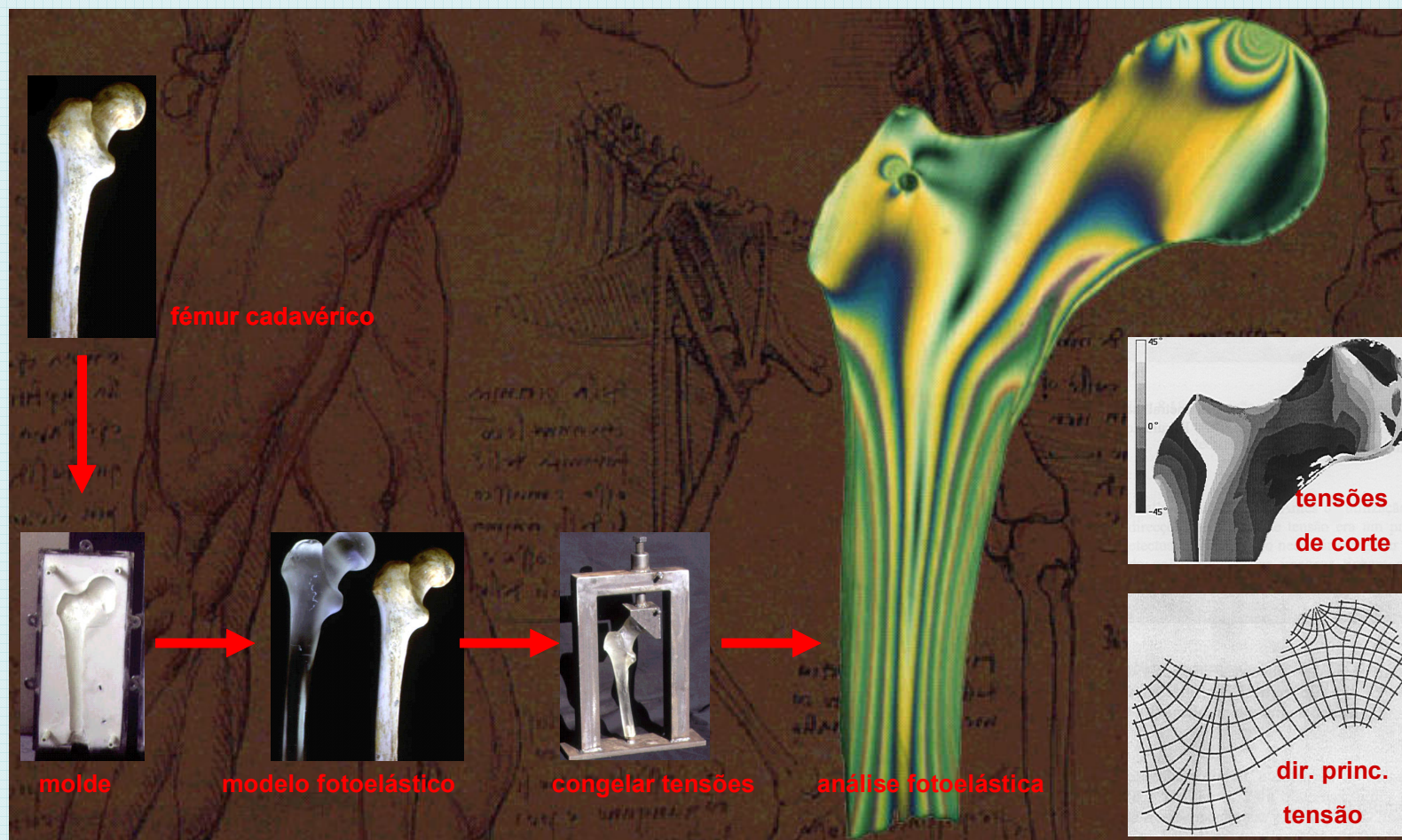
ISOCLINICAS

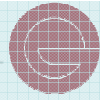




MEDIÇÃO DE TENSÕES (3)

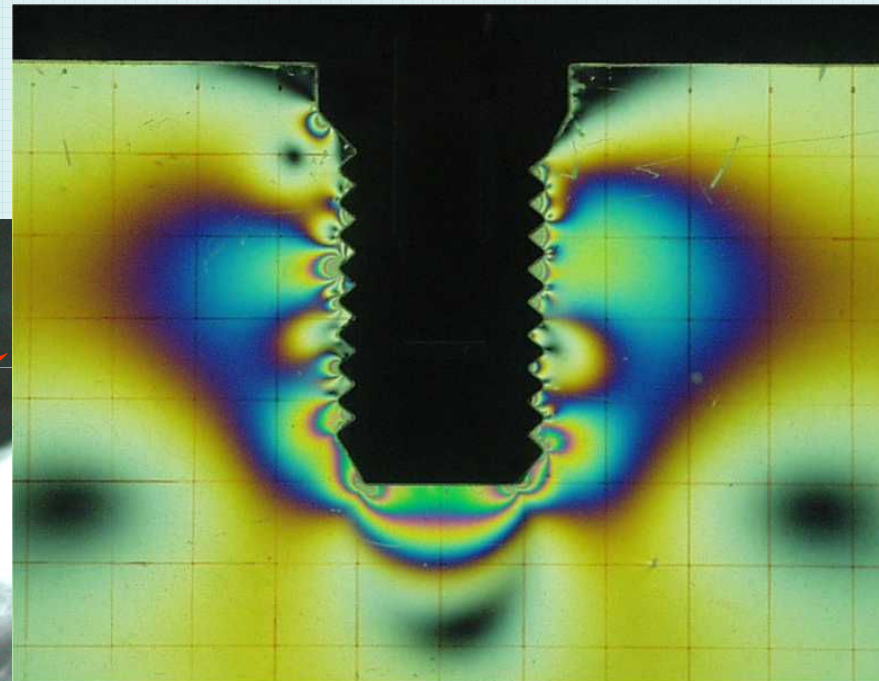
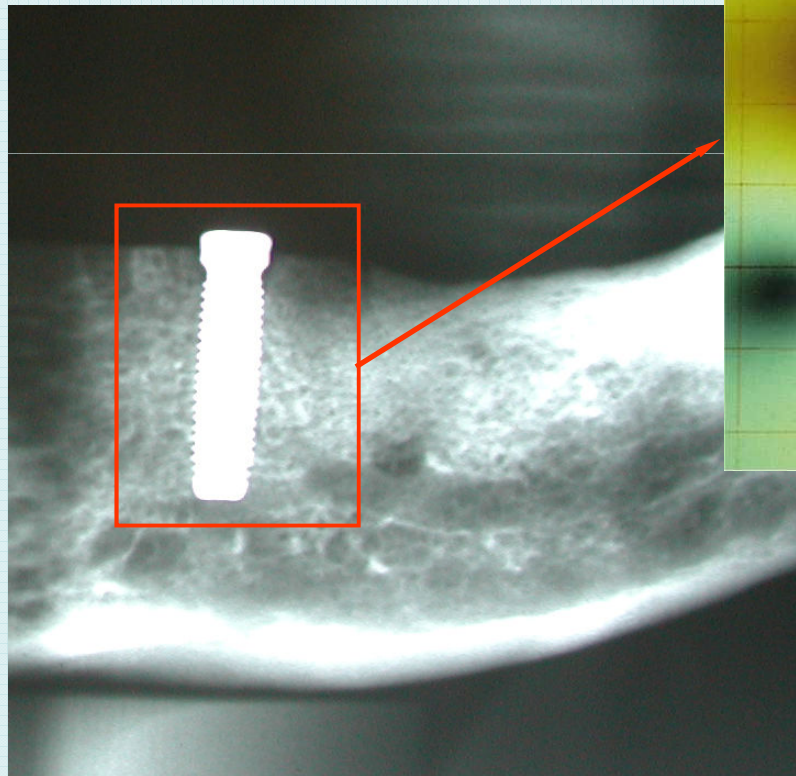
(Caracterização de tensões em modelo de fémur)



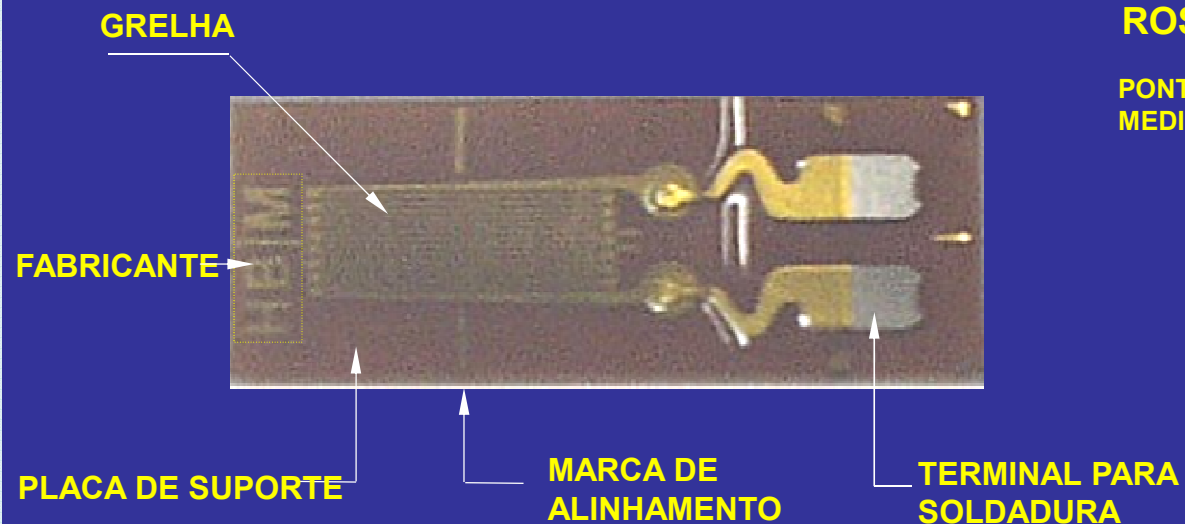


MEDIÇÃO DE TENSÕES (4)

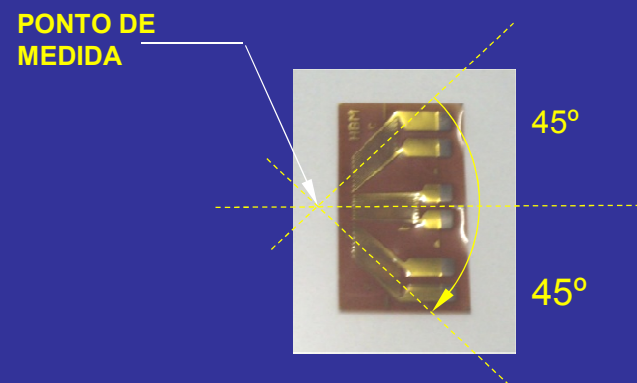
Aplicação em medicina dentária



EXTENSÓMETROS ELÉTRICOS

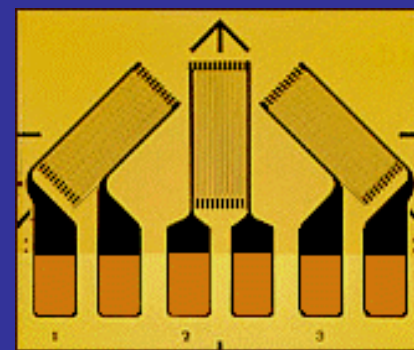
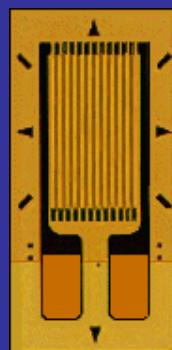


ROSETA DE EXTENSOMETROS



TIPOS DE EXTENSOMETROS

- Extensómetros de filamento
- Extensómetros de folha
- Extensómetros nús
- Extensómetros soldáveis
- Extensómetros semi-condutores



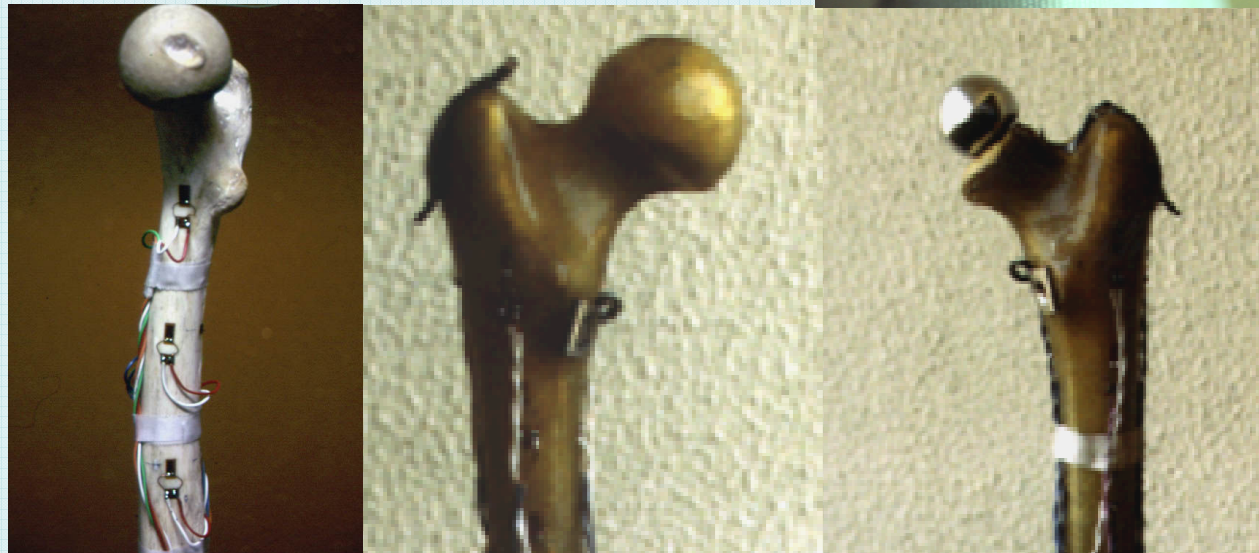
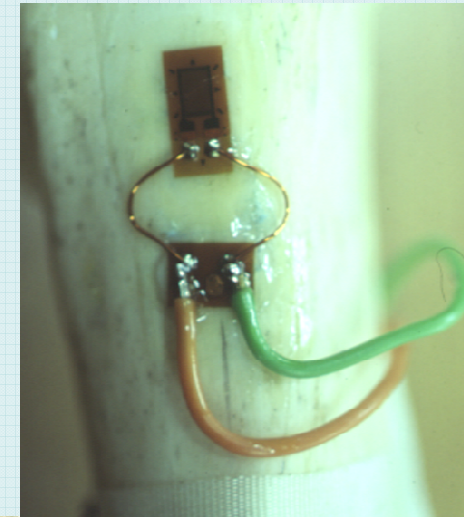


EXTENSÓMETRIA ELÉCTRICA (1)

Técnica discreta (estática ou dinâmica)

Medição de deformações

Sinal eléctrico





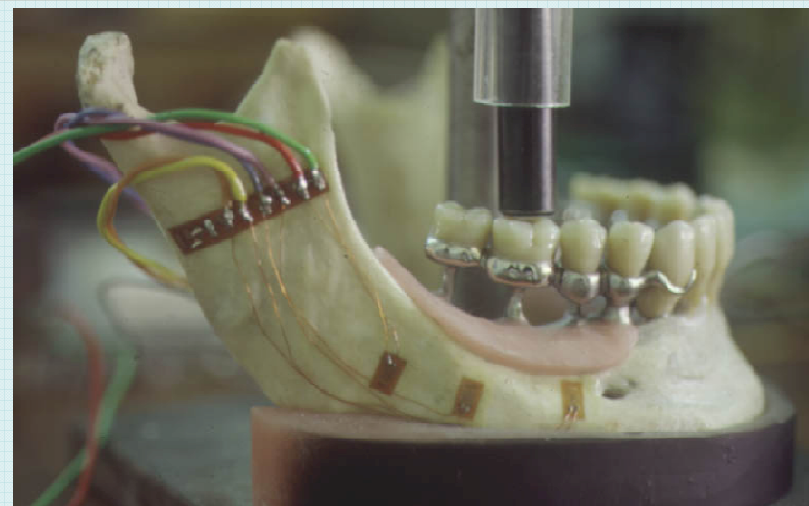
EXTENSÓMETRIA ELÉCTRICA (2)

Prótese esquelética

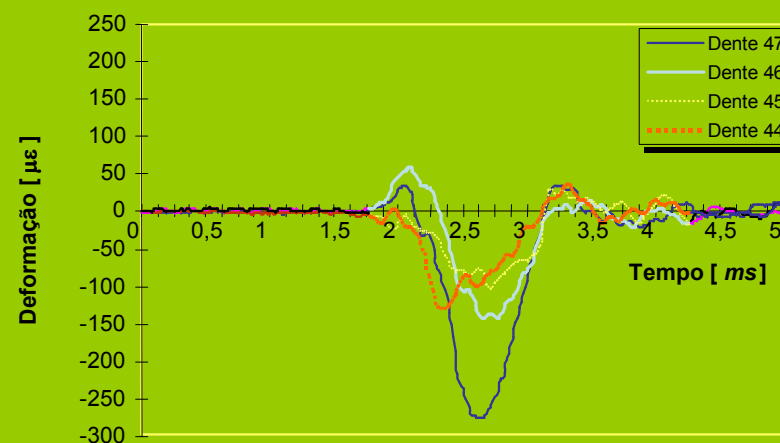
Tensões dinâmicas

Proteger o tecido remanescente

Minimizar reabsorção

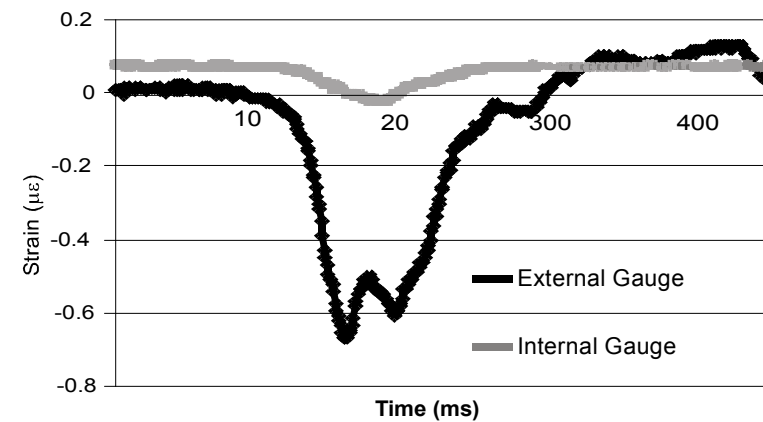
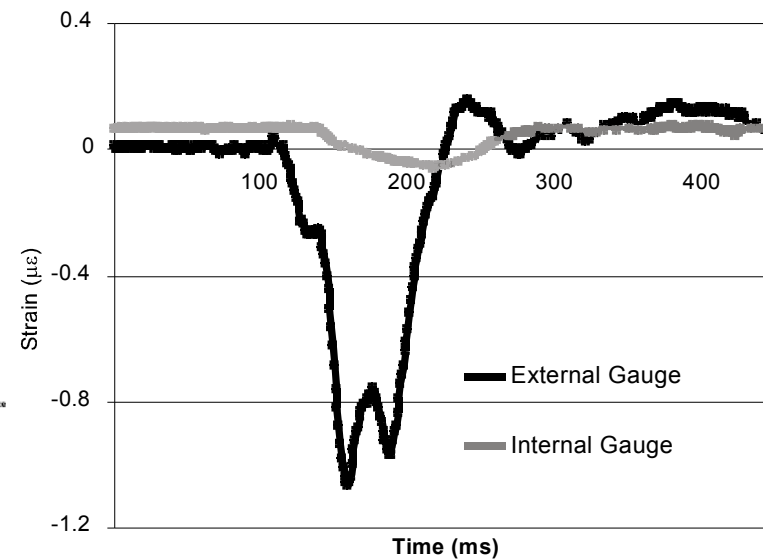
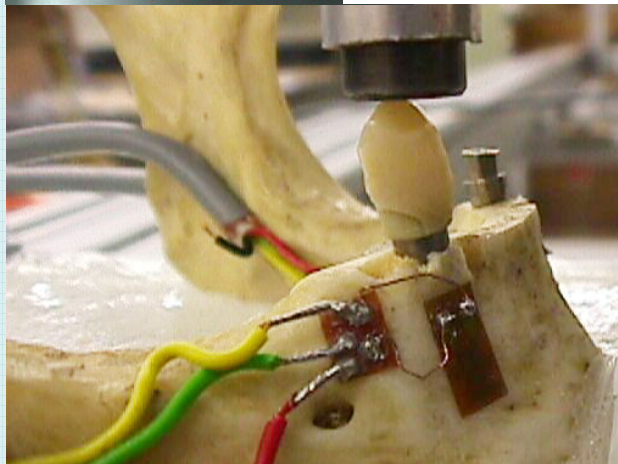
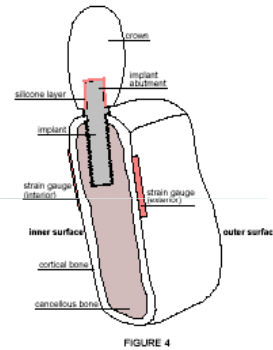
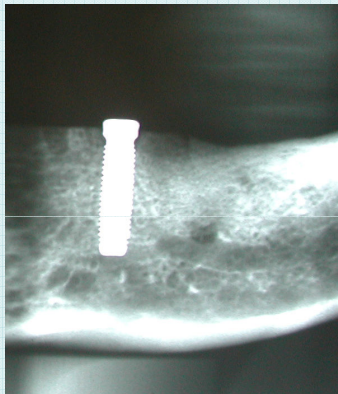


Ensaio nos dentes 47, 46, 45 e 44



EXTENSÓMETRIA ELÉCTRICA (3)

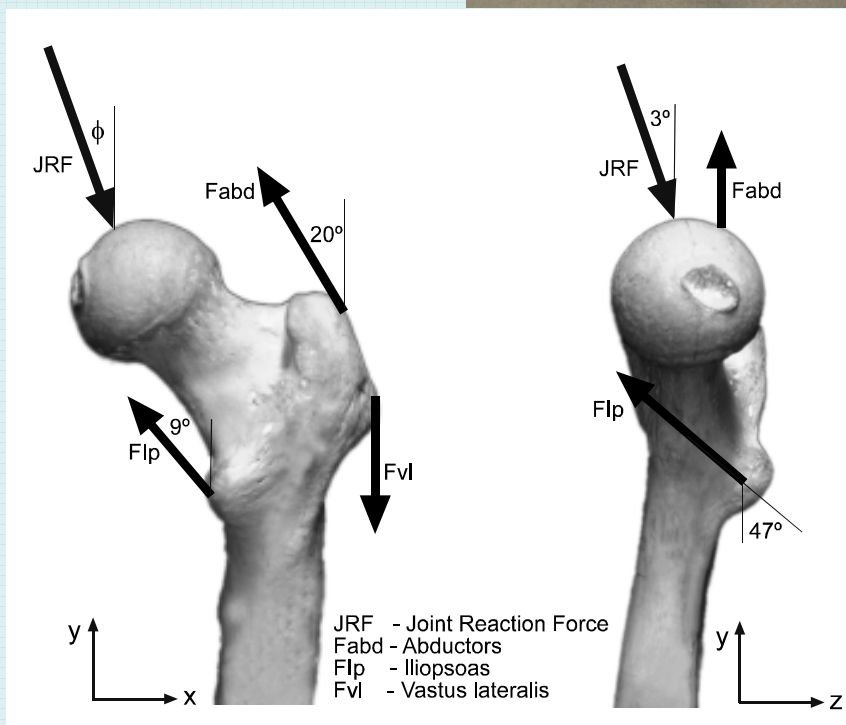
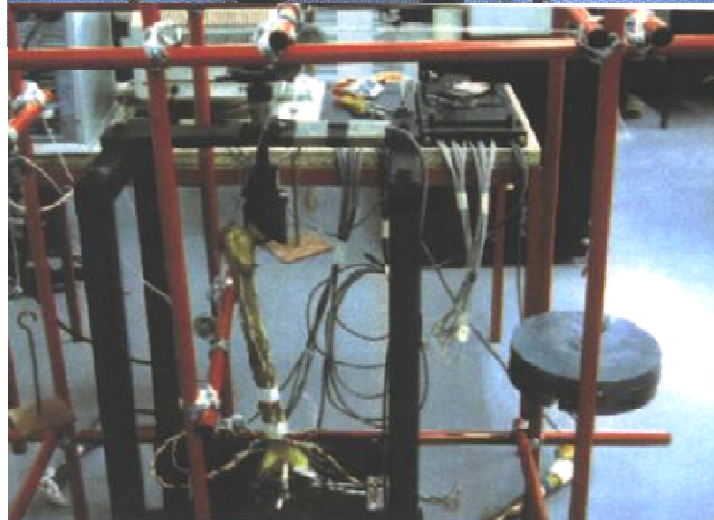
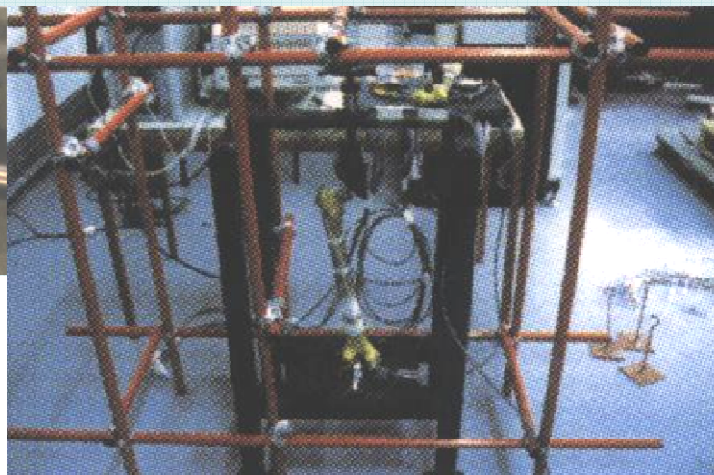
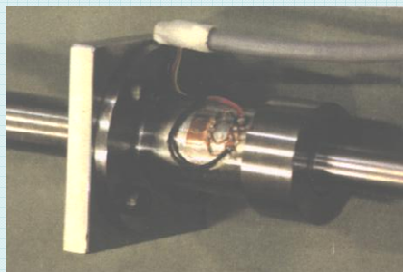
Tensões em implante dentário





EXTENSÓMETRIA ELÉCTRICA (4)

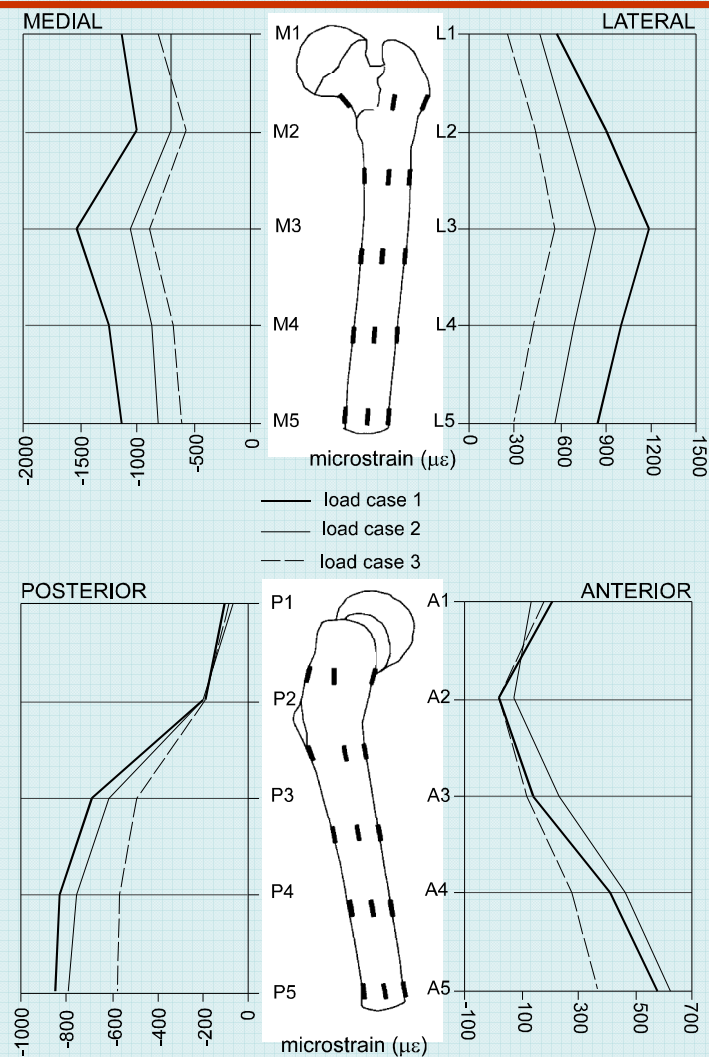
Simulação de cargas musculares

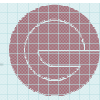




EXTENSÓMETRIA ELÉCTRICA (5)

Tensões biológicas
Tensões pós-cirurgia
Alterações/causas

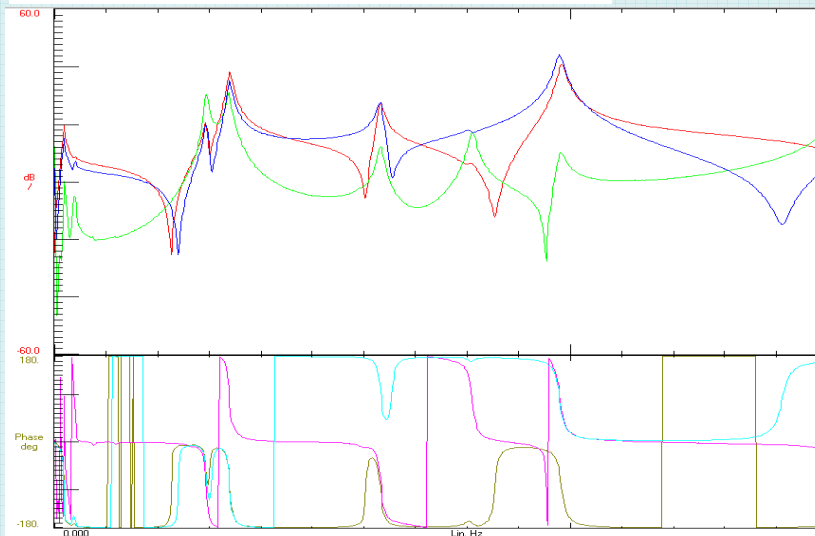




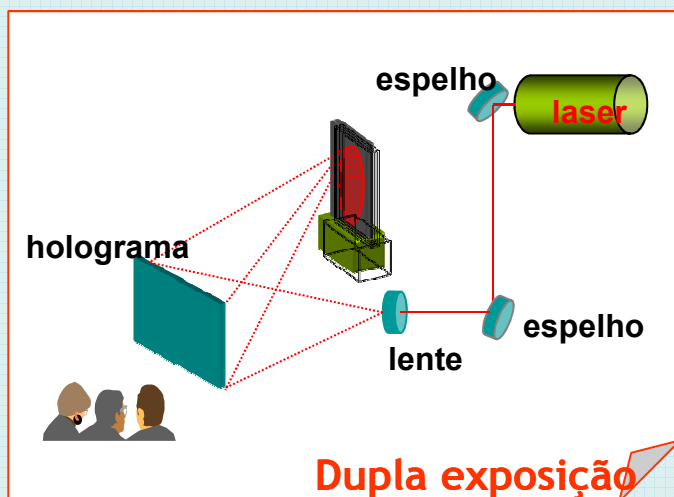
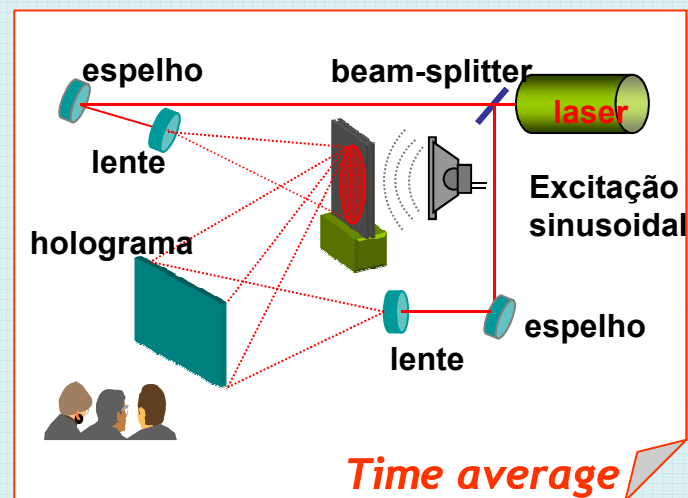
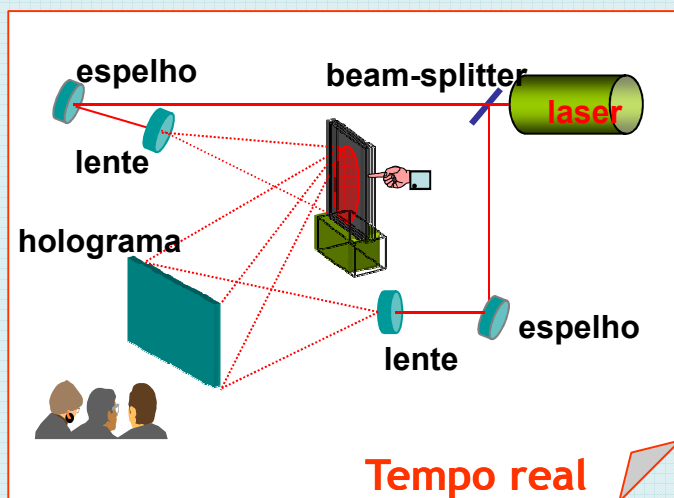
ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DINÂMICO

Análise de vibrações

Modo	Freq. [Hz]	Amortecimento[%]
1	295.00	1.08
2	339.91	1.03
3	631.87	0.77
4	808.77	0.78
5	981.81	0.73
6	1.53 k	0.86



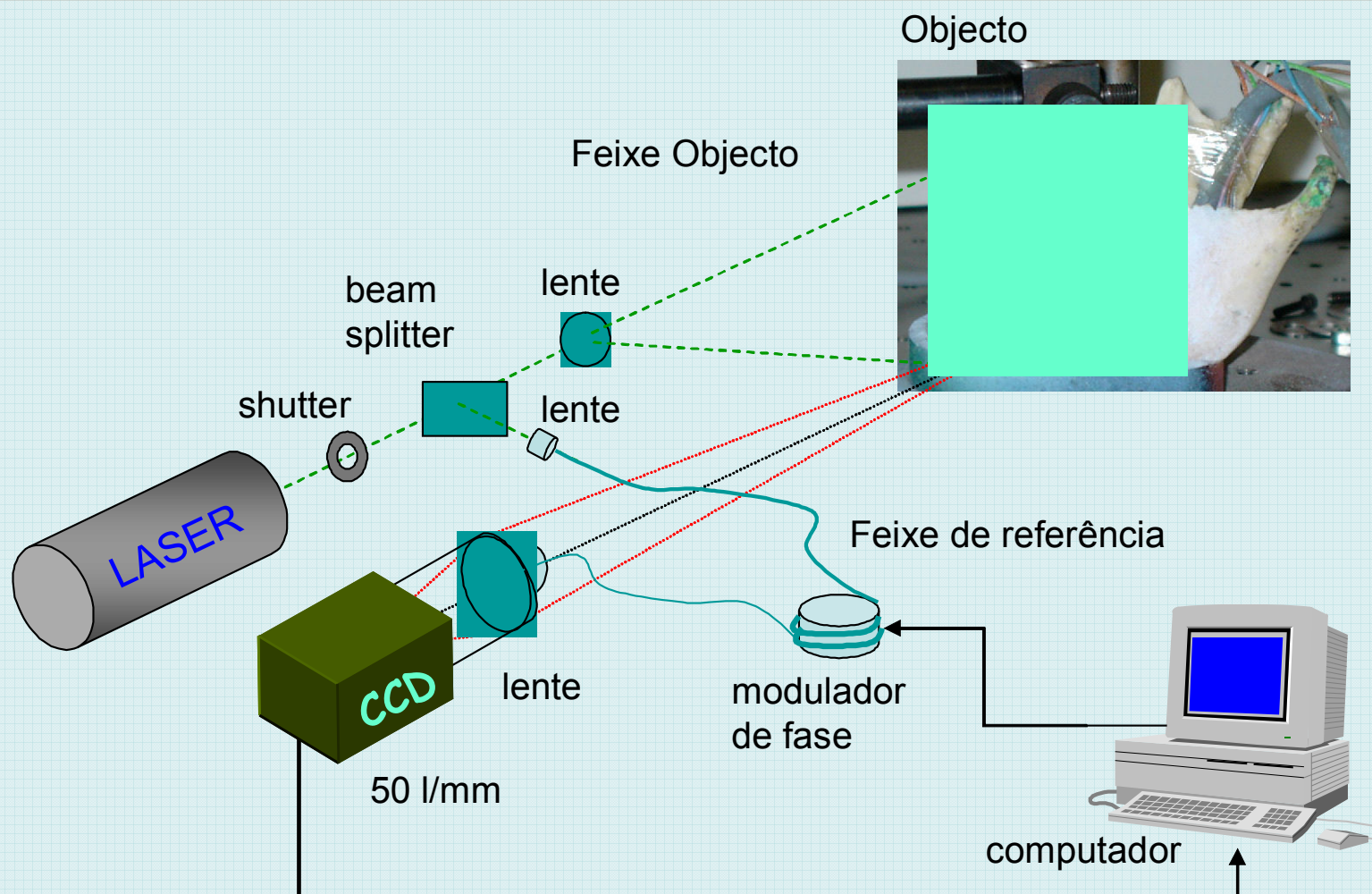
INTERFEROMETRIA HOLOGRÁFICA



- sem contacto
- medição global
- resolução sub-micrométrica
- fenómenos estáticos e dinâmicos

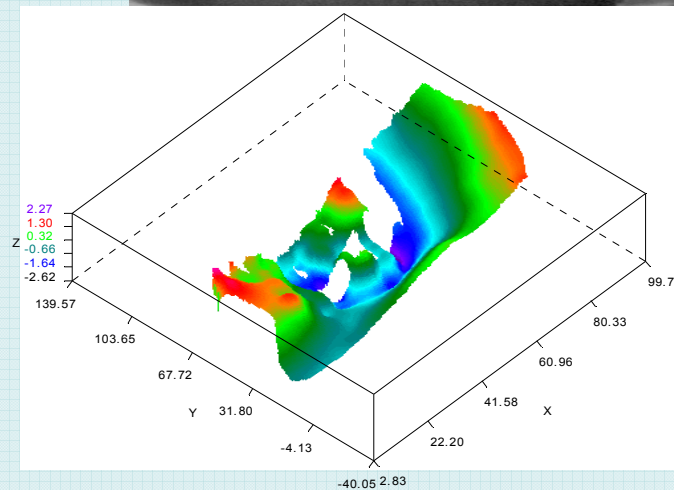
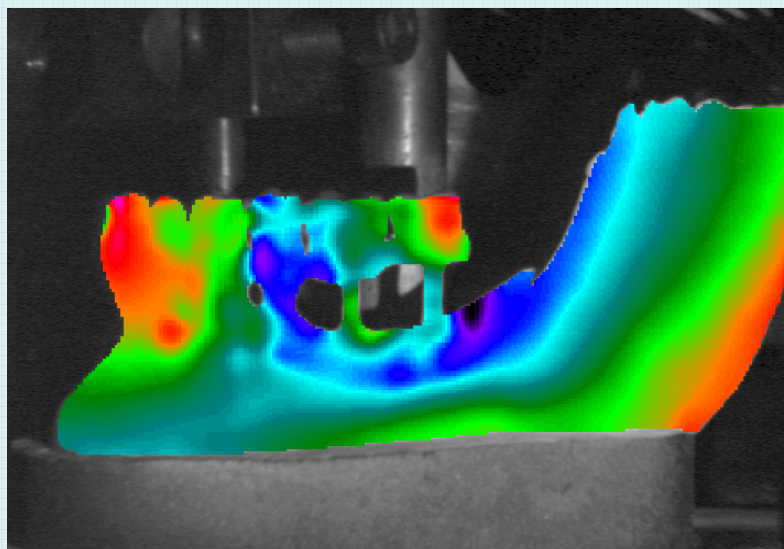
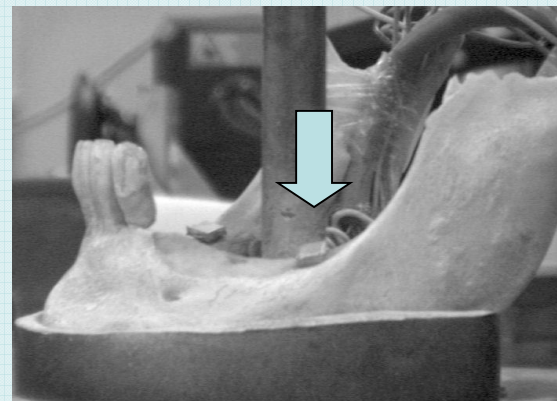
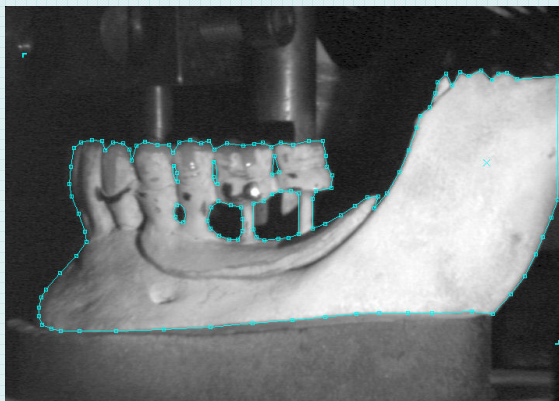


HOLOGRAFIA-TV / ESPI (1)





HOLOGRAFIA-TV / ESPI (2)

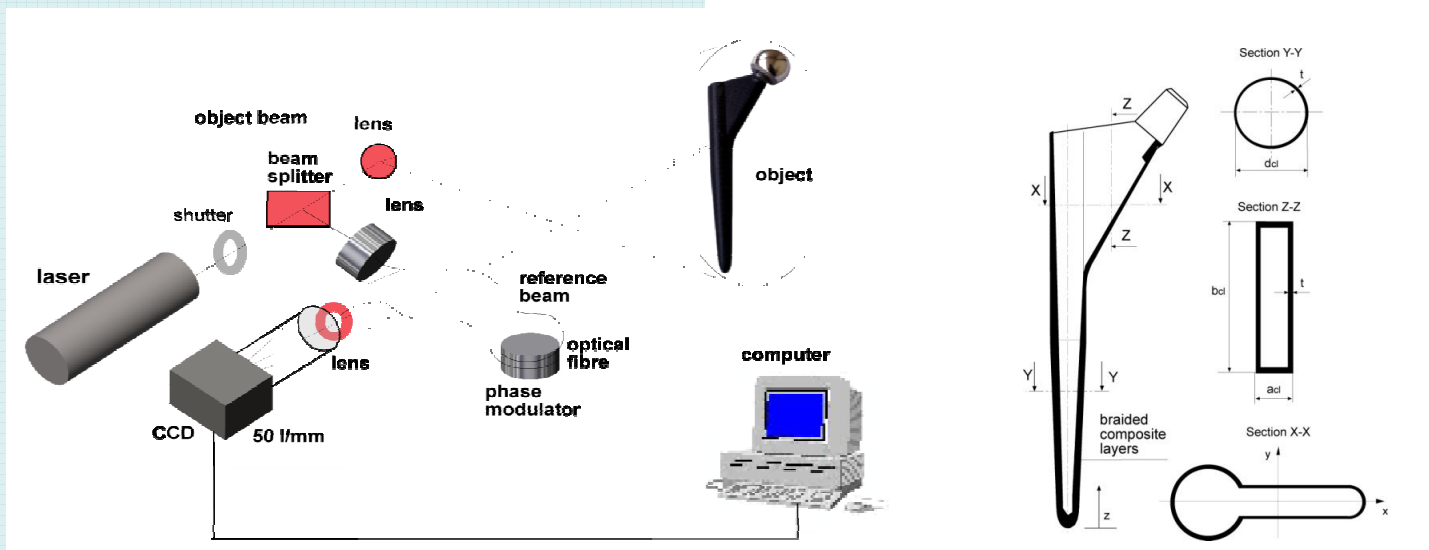
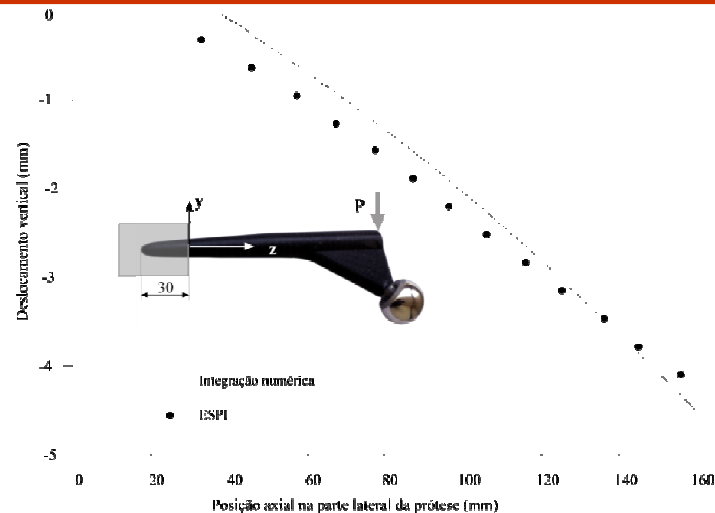


Deformation [μm]
PV= 4.894
17-05-2005 22:08:30

INEGI/LOME

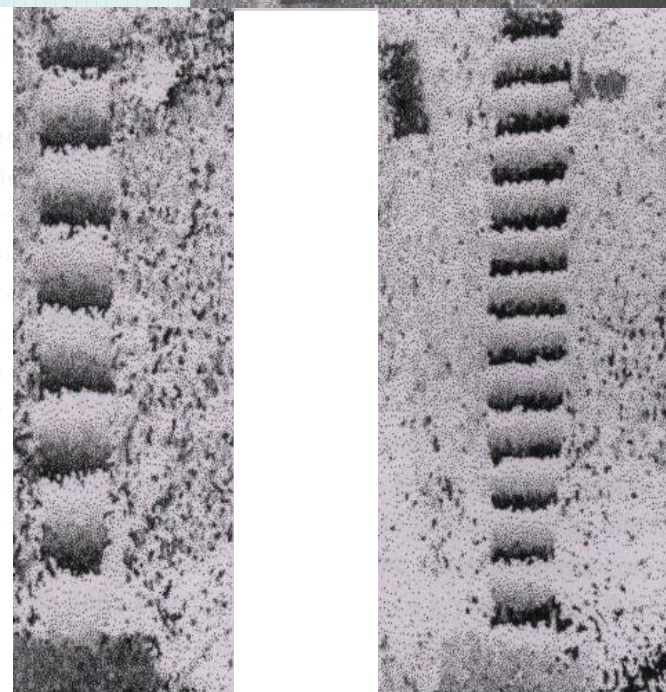
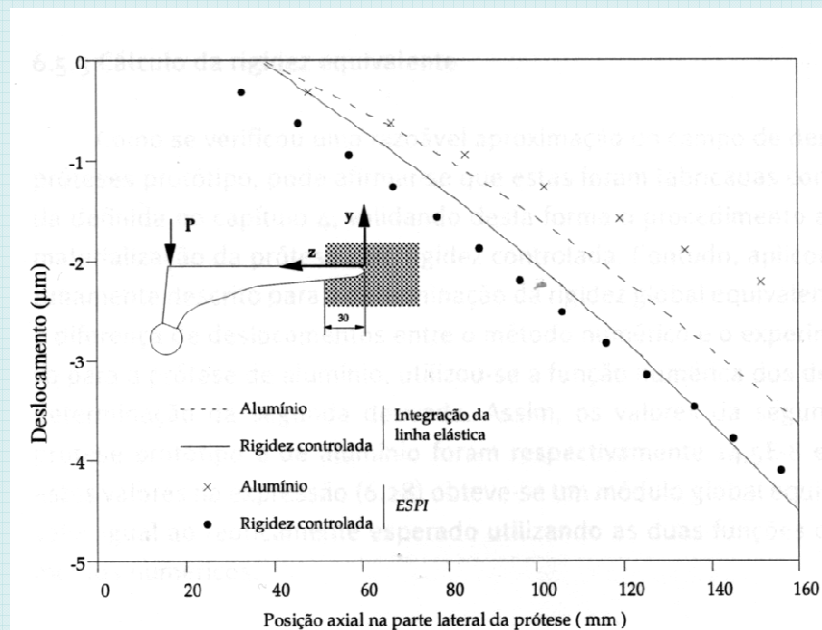
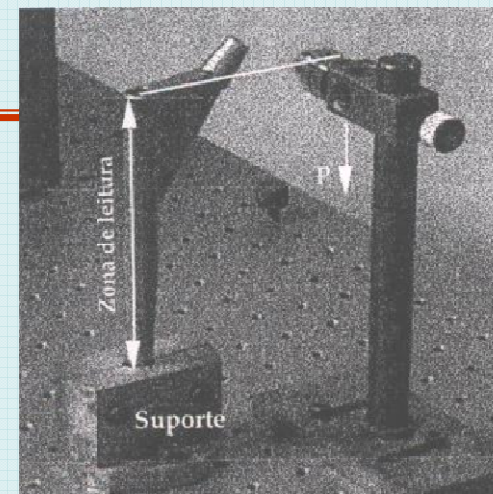
HOLOGRAFIA-TV / ESPI (3)

- prótese com rigidez variável
- validação de modelo



HOLOGRAFIA-TV / ESPI (4)

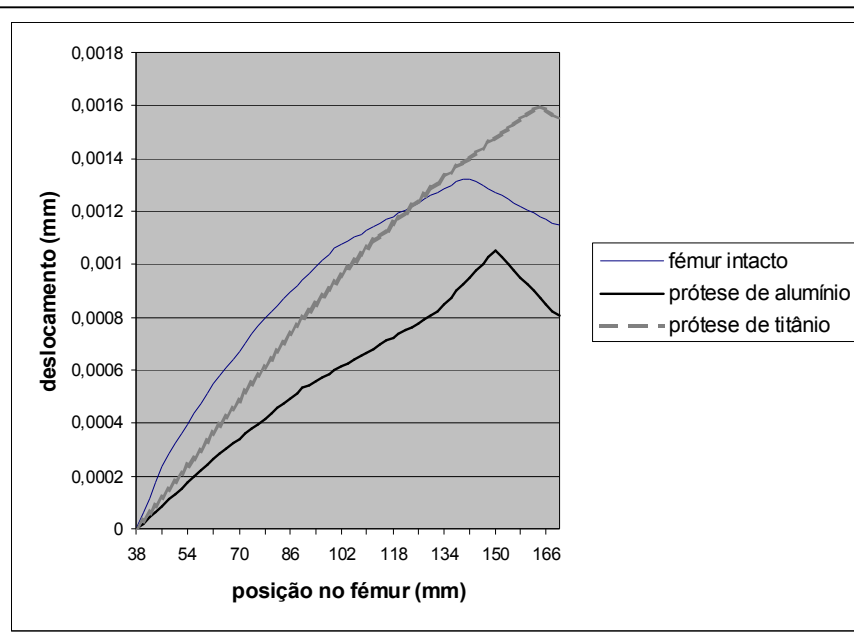
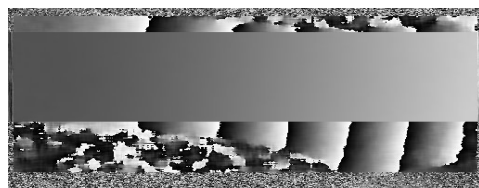
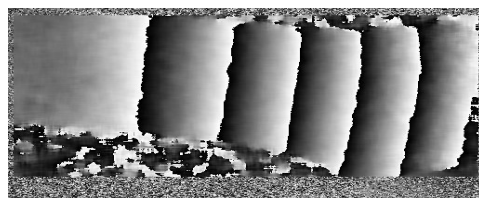
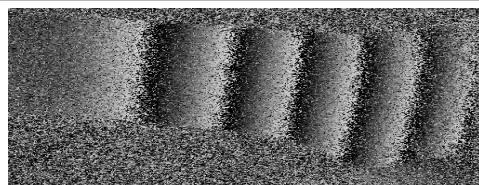
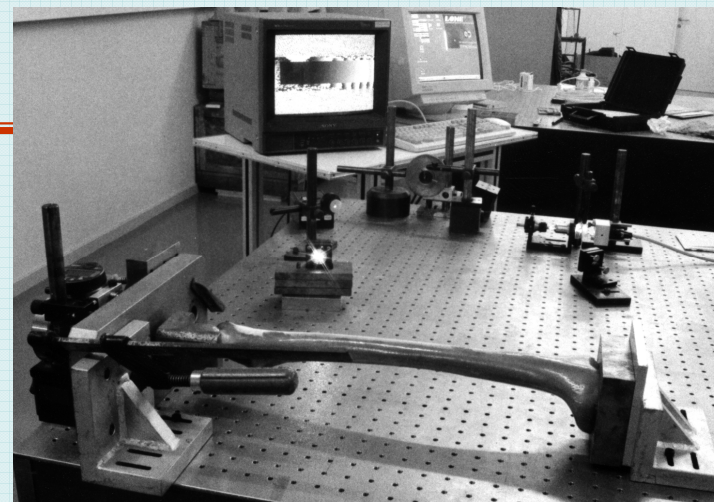
- Próteses em materiais diferentes
- Medição de rigidez





HOLOGRAFIA-TV / ESPI (5)

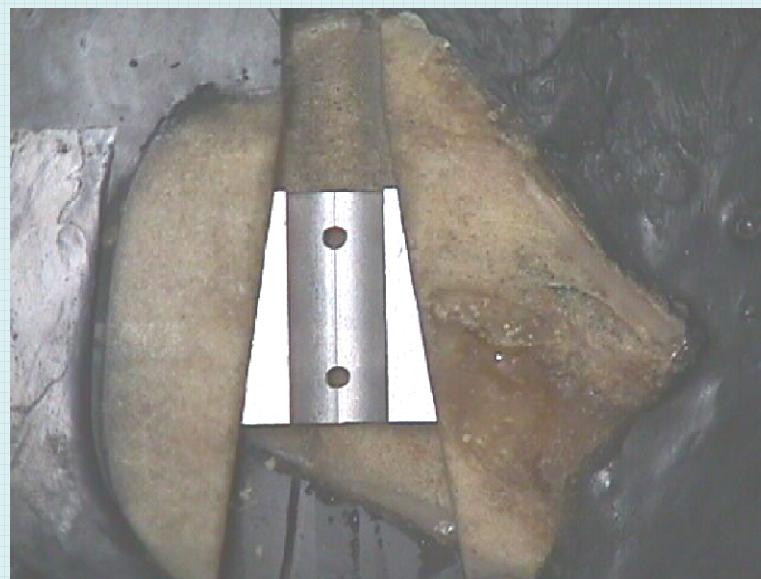
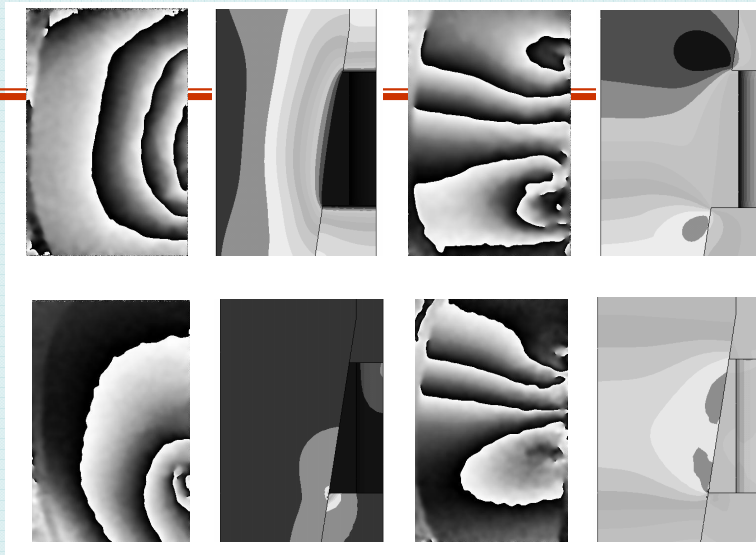
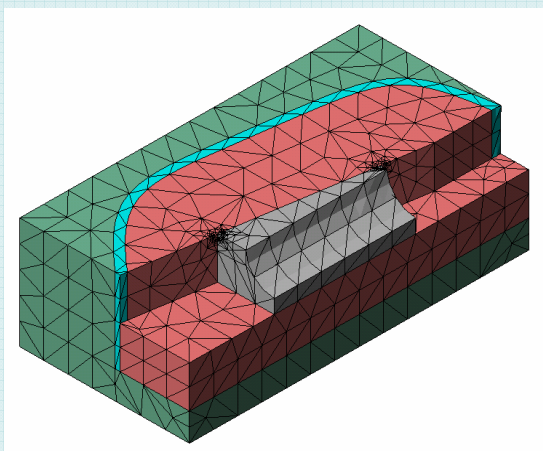
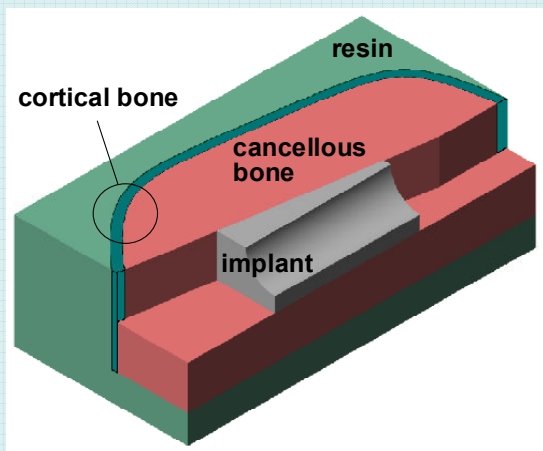
- Alteração de comportamento após colocação da prótese





HOLOGRAFIA-TV / ESPI (6)

■ Tensões na interface

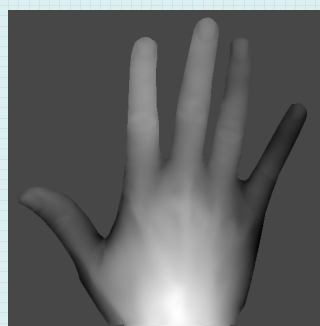
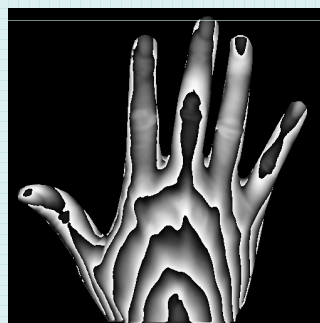
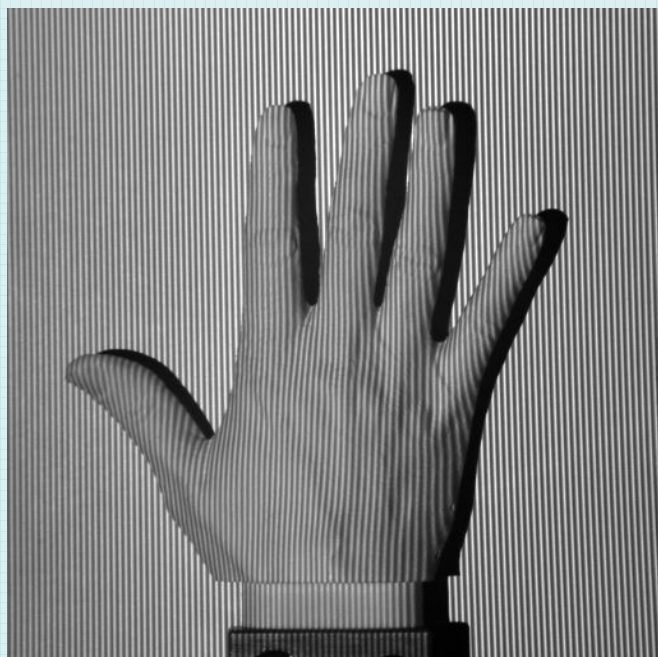
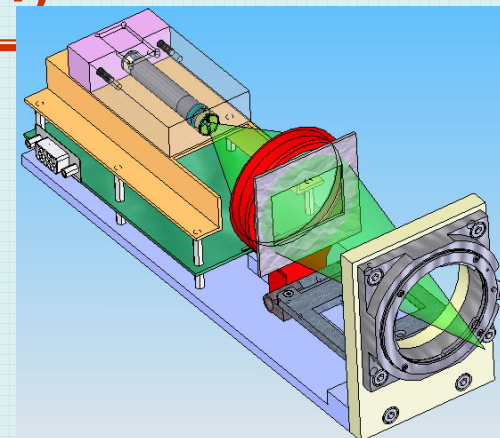




TÉCNICAS DE LEVANTAMENTO DE FORMA (1)

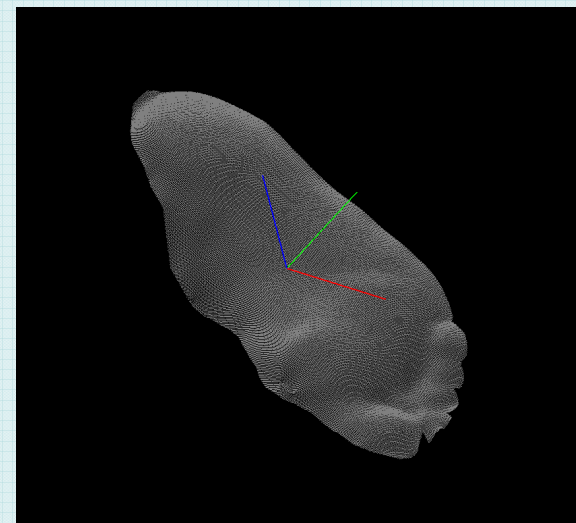
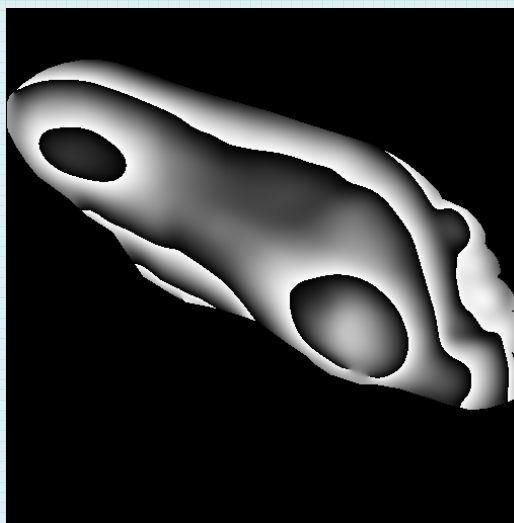
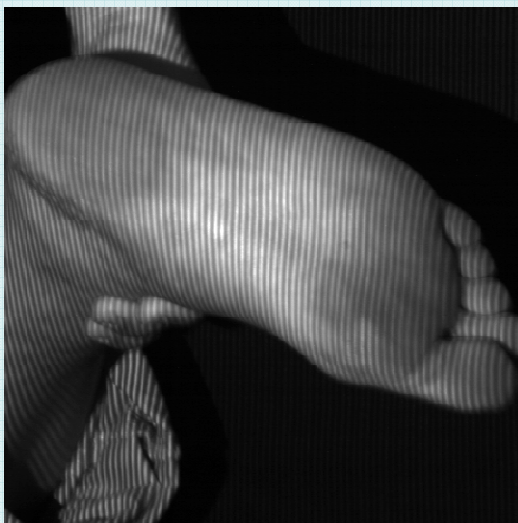
AUSÊNCIA DE CONTACTO

Utilizando iluminação estruturada e algoritmos de processamento de imagem permite obter ficheiros com informação tridimensional dos objectos para prototipagem rápida, em sistemas de reengineering), na geração de malhas de elementos finitos ou na obtenção das dimensões características de objectos.





TÉCNICAS DE LEVANTAMENTO DE FORMA (2)

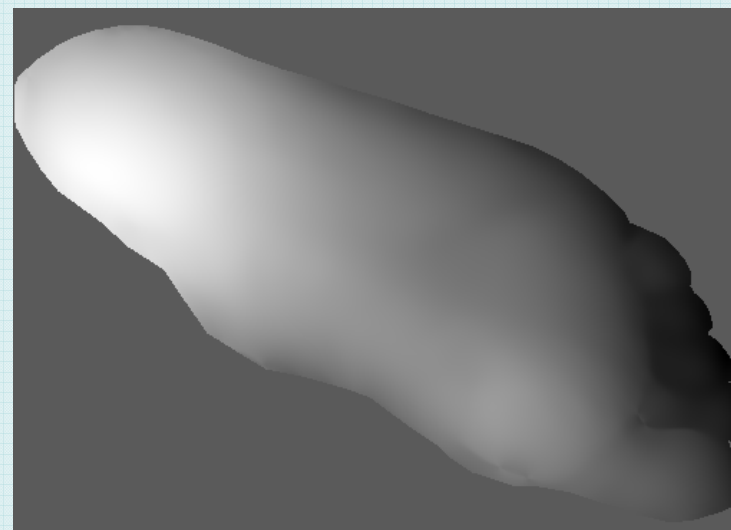


CARACTERIZAÇÃO DA TOPOGRAFIA PLANTAR

Projecção de um padrão de linhas paralelas,

Obtenção de ficheiros com informação 3D

Geração da superfície





SENSORES PIEZOELÉCTRICOS

Caracterização dinâmica de forças em 3d



Estudo do pé diabético



Receptor

www

Sensor/Emissor



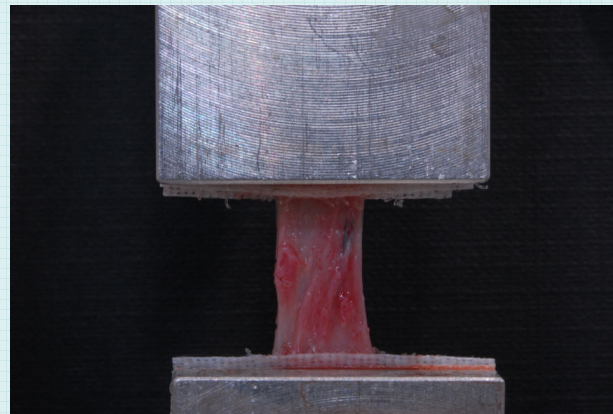
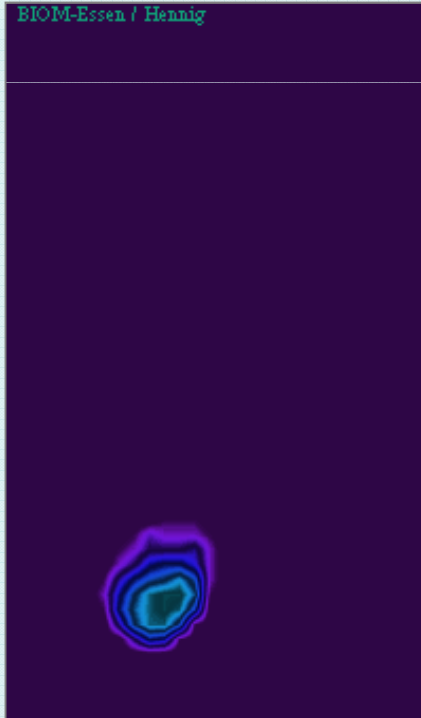


SENSORES PIEZOELÉCTRICOS

ESTUDO DO PÉ DIABÉTICO

- Obtenção das propriedades mecânicas dos tecidos
- Medição de forças, geometria e condições de fronteira
- Cálculo das tensões geradas durante a marcha

BIOM-Essen / Hennig





PROTOTIPAGEM RÁPIDA

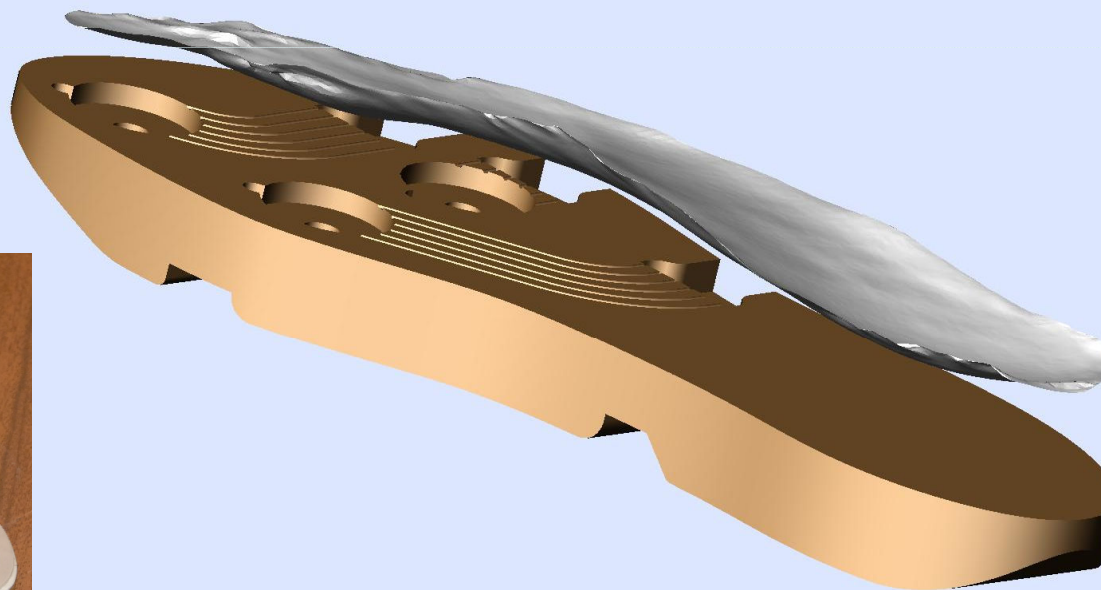


TOPOGRAFIA PLANTAR

Obtenção de uma palmilha personalizada otimizada

Prototipagem rápida (LOM, estereolitografia)

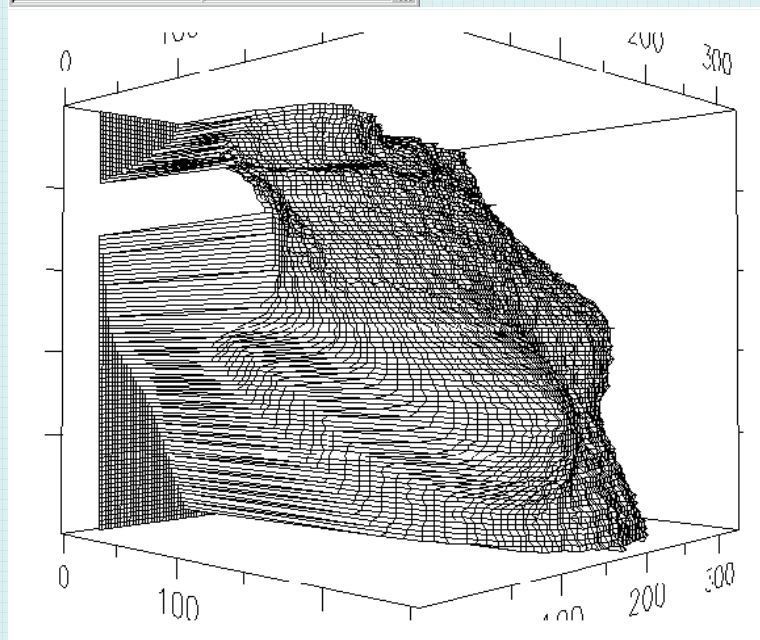
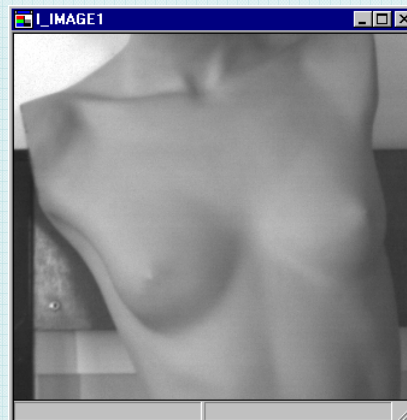
Permite a redistribuição das forças plantares





OUTRAS APLICAÇÕES (1)

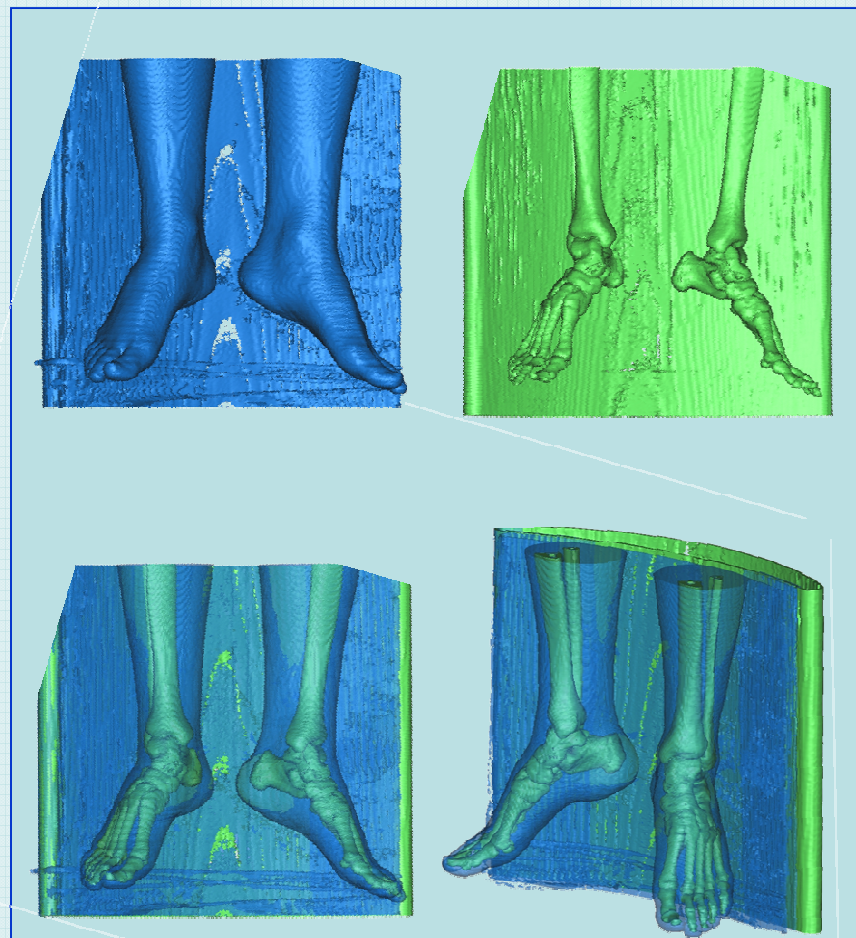
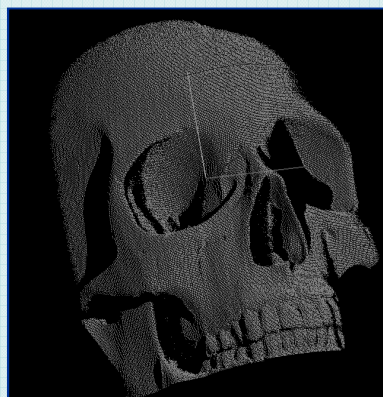
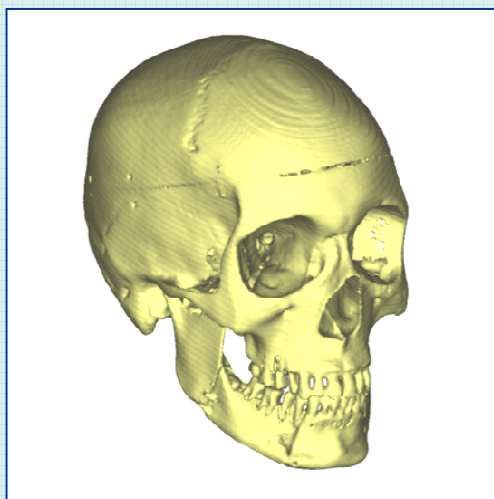
Caracterização de forma 3d (externa e interna)

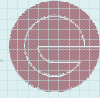




OUTRAS APLICAÇÕES (2)

- OBTENÇÃO DE FORMA POR TAC
- FABRICAÇÃO DE PRÓTESES À MEDIDA





CONCLUSÃO

AS TÉCNICAS DA MECÂNICA EXPERIMENTAL NA BIOMECÂNICA, EM GERAL E NA ORTOPEDIA, EM PARTICULAR, PERMITEM:

- **Avaliar estados de tensão fisiológico / patológicos**
- **Analisar o desempenho de novas soluções (próteses e implantes)**
- **Aferir e validar modelos numéricos**
- **Optimizar metodologias cirúrgicas e de projecto**
- **Definir procedimentos cirúrgicos para casos invulgares**
- **Simular e caracterizar processos de remodelação óssea**



AGRADECIMENTOS

O TRABALHO APRESENTADO É O RESULTADO DE CONTRIBUIÇÕES DE MUITOS AMIGOS E INVESTIGADORES COM QUEM TIVE O PRIVILÉGIO DE CONVIVER E TRABALHAR AO LONGO DOS ÚLTIMOS ANOS. DESTES, GOSTARIA DE SALIENTAR OS SEGUINTE:

- A. Trigo Cabral
- J.A. Simões
- J.D. Rodrigues
- J.R. Campos
- Jaime Monteiro
- M^a Arcelina Marques
- Mário Vaz
- Paulo Tavares



***OBRIGADO PELA
VOSSA ATENÇÃO!***

QUESTÕES?